

**ANDERSON ROGES TEIXEIRA GÓES**

**OTIMIZAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DA CARGA HORÁRIA  
DE PROFESSORES  
– MÉTODO EXATO, MÉTODO HEURÍSTICO, MÉTODO MISTO E  
INTERFACE –**

**CURITIBA**

**2005**

**ANDERSON ROGES TEIXEIRA GÓES**

**OTIMIZAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DA CARGA HORÁRIA  
DE PROFESSORES  
– MÉTODO EXATO, MÉTODO HEURÍSTICO, MÉTODO MISTO E  
INTERFACE –**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Deise Maria Bertholdi Costa.

CURITIBA

2005

**Anderson Roges Teixeira Góes**

**OTIMIZAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DA CARGA HORÁRIA DE PROFESSORES  
– MÉTODO EXATO, MÉTODO HEURÍSTICO, MÉTODO MISTO E INTERFACE –**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Área de Concentração em Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Deise Maria Bertholdi Costa** (orientadora)  
Departamento de Desenho - UFPR

**Prof. Dr. Arinei Carlos Lindbeck da Silva**  
Departamento de Matemática - UFPR

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Neida Maria Patias Volpi**  
Departamento de Matemática - UFPR

**Prof. Dr. Luiz Fernando Nunes**  
Departamento de Matemática – CEFET/PR

Curitiba, 31 de maio de 2005.

Dedico a Deus este trabalho, pois se não fosse Tua vontade eu nunca teria conseguido; Aos meus pais, Jorge Teixeira Góes e Ides Prado Góes, pois sempre acreditaram e me apoiaram a conseguir tudo o que almejo.

## AGRADECIMENTOS

A *Profª. Drª. Deise Maria Bertholdi Costa* por ter aceito a difícil tarefa de orientar este trabalho. Suas orientações e sugestões foram de grande valia para elaboração deste.

A amiga *Clarice E. da Silva Costa*. Nas horas de desânimo sempre estava presente e prosseguimos os estudos nos ajudando mutuamente.

A amiga *Clarice Maria Raimundo* por sempre traduzir para o inglês o resumo de meus trabalhos (abstract).

Ao CIESC – Madre Clélia, em especial a *Irmã Maria Socorro* por gentilmente simular o resultado do horário no software comercial.

Ao corpo docente e pedagógico da Escola Municipal Planalto dos Pinheiros no ano de 2004, *Carlos, Clarice, Dayana, Edilson, Gisele, Jucimara, Lúcia Helena, Márcia, Marie, Mariselma, Marta, Noeli, Rafael, Regina, Rosália, Rossano, Valmir, Vera e Zenilda*, vocês tornaram meu trabalho mais valioso com as sugestões e informações obtidas.

As diretoras da Escola Municipal Planalto dos Pinheiros, *Ana Cristina e Matilde* por autorizar a aplicação deste trabalho na escola e serem compreensiva quando solicitei alteração de dias de trabalho para concluir as disciplinas obrigatórias.

Aos professores *Arinei, Neida e Luiz Fernando* pelas sugestões finais para o aprimoramento deste trabalho.

*"(...) Quando ti diranno che non puoi chiedere di più  
che fai bene estare sempre a testa in giù  
oltre a questa ipocrisia devi credere che c'è  
non un muro ma un futuro anche per te.  
Fidati di me ho sofferto anch'io  
quando per coraggio ho visto il mondo a modo mio.  
Fidati di me non buttarti via  
anche se il regalo di un miracolo non c'è  
almeno fidati di me."*

*Laura Pausini*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	1
1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	2
1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	3
<b>2 O PROBLEMA.....</b>	<b>5</b>
2.1 RESTRIÇÕES PEDAGÓGICAS E OPERACIONAIS .....	6
2.2 RESTRIÇÕES – PREFERÊNCIAS DO PROFESSOR .....	7
<b>3 PROBLEMAS DE DESIGNAÇÃO ESCOLAR APRESENTADOS NA LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
3.1 PROBLEMAS ABORDANDO A DISTRIBUIÇÃO DE CARGA HORÁRIA DE PROFESSORES EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO .....	9
3.2 OUTROS PROBLEMAS ABORDADOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO.....	17
<b>4 MÉTODOS DE DESIGNAÇÃO.....</b>	<b>19</b>
4.1 MÉTODOS EXATOS.....	19
4.1.1 <i>Programação Linear (PPL)</i> .....	19
4.1.1.1 Programação Linear Inteira (PPLI) .....	20
4.1.1.2 Programação Linear Binária .....	24
4.2 MÉTODOS HEURÍSTICOS .....	24
4.3 MÉTODOS META-HEURÍSTICOS.....	25
4.3.1 <i>Simulated Annealing</i> .....	26
4.3.2 <i>Busca Tabu</i> .....	27
4.3.3 <i>Algoritmo Genético</i> .....	28
4.3.1 <i>GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures)</i> .....	33
<b>5 O PROBLEMA REAL – ESCOLA MUNICIPAL PLANALTO DOS PINHEIROS .....</b>	<b>34</b>
5.1 O ENSINO FUNDAMENTAL – 5ª A 8ª SÉRIES.....	35
5.2 A OBTENÇÃO DE DADOS.....	36

<b>6</b>	<b>A CRIAÇÃO DA INTERFACE .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>A MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA REAL PARA ABORDAGEM ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA BINÁRIA .....</b>	<b>44</b>
7.1	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE DECISÃO .....	44
7.1.1	<i>Número de variáveis do problema real .....</i>	<i>45</i>
7.2	DEFINIÇÃO DA FUNÇÃO OBJETIVO.....	47
7.3	DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES .....	49
<b>8</b>	<b>A ABORDAGEM DO PROBLEMA REAL ATRAVÉS DE ALGORITMO BASEADO EM ALGORITMO GENÉTICO.....</b>	<b>59</b>
8.1	TERMINOLOGIA BIOLÓGICA $\Leftrightarrow$ CONSTRUÇÃO DA GRADE HORÁRIA DE PROFESSORES .....	59
8.2	REPRESENTAÇÃO DE UM INDIVÍDUO .....	61
8.3	OPERADOR GENÉTICO.....	61
8.4	POPULAÇÃO INICIAL .....	63
8.4.1	<i>Heurística para geração de população inicial .....</i>	<i>63</i>
8.5	CÁLCULO DO <i>FITNESS</i> .....	64
8.6	APLICAÇÃO DO OPERADOR GENÉTICO.....	68
8.6.1	<i>Heurística – Verificação.....</i>	<i>69</i>
8.6.2	<i>Heurística de Melhoria – Número de aulas, por professor, maior que o permitido por dia em uma mesma turma.....</i>	<i>70</i>
8.6.3	<i>Heurística de Melhoria – Professor com mais dias de trabalho que o necessário .....</i>	<i>71</i>
8.6.4	<i>Heurística de Melhoria – Professor atendendo mais que uma turma em qualquer horário .....</i>	<i>72</i>
8.6.5	<i>Heurística de Melhoria – Professor com aula no dia de hora atividade.....</i>	<i>73</i>
8.6.6	<i>Erros ocasionados pelas heurísticas de melhoria .....</i>	<i>74</i>
8.6.7	<i>Heurística de Melhoria – Professor com Horário Vago .....</i>	<i>76</i>
8.6.8	<i>Heurística de Refinamento – Preferência ou não por aulas geminadas.....</i>	<i>77</i>
8.7	SELEÇÃO DO INDIVÍDUO .....	78
8.8	CRITÉRIO DE PARADA .....	80
<b>9</b>	<b>A ABORDAGEM DO PROBLEMA REAL ATRAVÉS DE MÉTODO EXATO E ALGORITMO BASE EM ALGORITMO GENÉTICO – MÉTODO MISTO.....</b>	<b>82</b>
<b>10</b>	<b>COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
10.1	COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: MANUAL X MÉTODO EXATO .....	85
10.2	COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: SOFTWARE COMERCIAL X MÉTODO EXATO .....	88
10.3	COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: MÉTODO HEURÍSTICO (AG) X MÉTODO EXATO .....	90
10.4	COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO .....	93
10.5	GRÁFICOS COMPARATIVOS .....	96



<b>11 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 01 – PESQUISA DE PREFERÊNCIA.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO 02 – HORÁRIO GERADO MANUALMENTE.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 03 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO EXATO .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 04 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO HEURÍSTICO – ALGORITMO BASEADO EM ALGORITMO GENÉTICO.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO 05 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO MISTO .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 06 – HORÁRIO GERADO PELO SOFTWARE COMERCIAL .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO 07 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO MISTO – ANO LETIVO 2005 .....</b>	<b>126</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 – PLANO DE CORTE.....	22
FIGURA 02 – MÉTODO “BRANCH AND BOUND” .....	23
FIGURA 03 – OPERADOR GENÉTICO MUTAÇÃO .....	30
FIGURA 04 – OPERADOR GENÉTICO <i>CROSSOVER</i> DE UM PONTO .....	31
FIGURA 05 – OPERADOR GENÉTICO <i>CROSSOVER</i> DE DOIS PONTOS .....	31
FIGURA 06 – OPERADOR GENÉTICO INVERSÃO.....	31
FIGURA 07 – TELA “MENU INICIAL” .....	39
FIGURA 08 – TELA “MENU CADASTRO” .....	40
FIGURA 09 – TELA “TURNO” .....	40
FIGURA 10 – TELA “DISCIPLINAS”.....	40
FIGURA 11 – MENU “TURMAS” .....	41
FIGURA 12 – ARQUIVOS REFERENTES AS TURMAS .....	41
FIGURA 13 – MENU “PROFESSORES” .....	42
FIGURA 14 – ARQUIVOS REFERENTES AOS DADOS DOS PROFESSORES .....	43
FIGURA 15 – REPRESENTAÇÃO DO INDIVÍDUO .....	61
FIGURA 16 – OPERADOR INVERSÃO APLICADO A GRADE HORÁRIA .....	62
FIGURA 17 – NÚMERO DE AULAS, MAIOR QUE O PERMITIDO POR TURMA POR DIA.....	71
FIGURA 18 – PROFESSOR COM MAIS DIAS DE TRABALHO QUE O NECESSÁRIO .....	72
FIGURA 19 – PROFESSOR ATENDENDO MAIS DE UMA TURMA EM UM HORÁRIO.....	73
FIGURA 20 – PROFESSOR COM AULA NO DIA DE HORA-ATIVIDADE .....	74
FIGURA 21 – PROFESSOR COM HORÁRIO VAGO.....	77
FIGURA 22 – PREFERÊNCIA OU NÃO POR AULAS GEMINADAS.....	78
FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO BASEADO EM ALGORITMO GENÉTICO .....	81
FIGURA 24 – DADOS GERADO PELO LINGO 6.0 REFERENTE AO MÉTODO EXATO .....	85
FIGURA 25 – MANUAL X EXATO – PROFESSOR CARLOS .....	86

FIGURA 26 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA JUCIMARA .....	86
FIGURA 27 – MANUAL X EXATO – PROFESSOR EDILSON – AULAS NÃO GEMINADAS .....	87
FIGURA 28 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA MARISELMA - AULAS NÃO GEMINADAS.....	87
FIGURA 29 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA LÚCIA - AULAS GEMINADAS .....	87
FIGURA 30 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA MARIE - AULAS GEMINADAS.....	87
FIGURA 31 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA - AULAS GEMINADAS .....	88
FIGURA 32 – SOFTWARE COMERCIAL X EXATO – PROFESSORA JUCIMARA - AULAS GEMINADAS .....	89
FIGURA 33 – SOFTWARE COMERCIAL X EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA .....	89
FIGURA 34 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR CARLOS - AULAS GEMINADAS.....	91
FIGURA 35 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA LÚCIA - AULAS GEMINADAS .....	91
FIGURA 36 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA MARIE - AULAS GEMINADAS .....	91
FIGURA 37 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR RAFAEL - AULAS NÃO GEMINADAS.....	92
FIGURA 38 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA REGINA - AULAS NÃO GEMINADAS.....	92
FIGURA 39 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA - AULAS GEMINADAS .....	92
FIGURA 40 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR VALMIR - AULAS NÃO GEMINADAS .....	92
FIGURA 41 – DADOS GERADOS PELO LINGO 6.0 REFERENTE AO MÉTODO EXATO NA ABORDAGEM MISTO.....	93
FIGURA 42 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR CARLOS - AULAS GEMINADAS.....	94
FIGURA 43 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA JUCIMARA - AULAS GEMINADAS.....	94
FIGURA 44 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA LÚCIA - AULAS GEMINADAS .....	95
FIGURA 45 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA MARIE - AULAS GEMINADAS .....	95
FIGURA 46 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA – AULAS GEMINADAS .....	95
FIGURA 47 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR ROSSANO - AULAS NÃO GEMINADAS .....	95

GRÁFICO 01 – QUANTIDADE DE PROFESSORES CONTEMPLADOS COM A PRIMEIRA OPÇÃO PELO DIA DE NÃO VÍNCULO .....	96
GRÁFICO 02 - QUANTIDADE DE PROFESSORES QUE NÃO POSSUEM AULAS NO DIA DE HORA ATIVIDADE.....	96
GRÁFICO 03 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM TOTAL DE DIAS DE TRABALHO NECESSÁRIO EM SALA DE AULA CONTEMPLADO .....	97
GRÁFICO 04 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM A PREFERÊNCIA POR AULA GEMINADAS CONTEMPLADA POR COMPLETO.....	97
GRÁFICO 05 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS NÃO GEMINADAS CONTEMPLADA POR COMPLETO.....	97
GRÁFICO 06 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS GEMINADAS CONTEMPLADA PARCIALMENTE. ....	98
GRÁFICO 07 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS NÃO GEMINADAS CONTEMPLADA PARCIALMENTE. ....	98
GRÁFICO 08 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS GEMINADAS NÃO CONTEMPLADA TOTALMENTE. ....	98
QUADRO 01 – HORÁRIOS RECUSADOS PARA OS PROFESSORES QUE PREFEREM AULAS GEMINADAS.....	55
QUADRO 02 – HORÁRIOS RECUSADOS PARA OS PROFESSORES QUE PREFEREM AULAS NÃO GEMINADAS.....	56
TABELA 01 - CARGA HORÁRIA POR SÉRIE.....	35
TABELA 02 - CARGA HORÁRIA DO PROFESSOR.....	37
TABELA 03 – PREFERÊNCIA DO DIA DE NÃO VÍNCULO E AULAS GEMINADAS.....	38

## LISTA DE SIGLAS

AG	-	Algoritmo Genético.
BT	-	Busca Tabu
h/a	-	hora/aula (tempo de duração de uma aula).
H A	-	Hora atividade.
PPL	-	Problema da Programação Linear.
PPLB	-	Problema da Programação Linear Binária.
PPLI	-	Problema da Programação Linear Inteira.
SMED	-	Secretaria Municipal de Educação – Araucária/PR.

## RESUMO

No início do período letivo, em qualquer instituição de ensino, há sempre a preocupação com a distribuição de turmas e dias que cada professor terá que assumir. Apesar de todo avanço computacional, a maioria das escolas ainda realiza a construção da grade escolar manualmente, tornando o trabalho demorado e envolvendo praticamente todo o corpo docente e pedagógico, secretaria e direção na busca de otimizar e satisfazer as preferências de seus professores. O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo utilizando três algoritmos (exato, heurístico e misto) que encontre uma solução que satisfaça a preferência de cada professor, as exigências pedagógicas e operacionais. O método exato utilizado é a elaboração da Modelagem Matemática do Problema, abordado como um problema da Programação Linear Inteira Binária, resolvido no software LINGO 6.0. O método heurístico é um algoritmo baseado em Algoritmo Genético (baseado na teoria da evolução da espécie de Darwin, onde os melhores indivíduos sobrevivem). O protótipo é aplicado na construção do horário escolar da Escola Municipal Planalto dos Pinheiros, no município de Araucária-PR, realizando, assim, a comparação entre: os horários gerados pelo protótipo, o horário gerado pelo software comercial e o horário gerado manualmente na instituição de ensino. Conclui-se que horários gerados pelos métodos Exato, Heurístico e Misto obtiveram melhor resultado que o gerado manualmente e o gerado pelo software comercial, conforme as especificidades da Rede Municipal de Araucária.

**Palavras-chave:** Horário escolar; Problema de otimização linear binária; Métodos exato, heurístico e misto (algoritmos);

## ABSTRACT

At the beginning of the school year, in any teaching institution, there is always the concern with the distribution of the groups and the days which each teacher will have to take over. Besides all computing advancement, most of the schools still make the construction of the school timetable manually, making the work too long to be completed and involving almost all the teaching and pedagogical staff, secretary and the direction of the school in the search of optimizing and satisfying the preferences of their teachers. The aim of this paper is to develop a prototype using three algorithms (an exact one, a heuristic one and a mixed one) which can find the solution which satisfies the preference of each teacher and the pedagogical demands, such as, a teacher who cannot take over two groups at the same time. The exact method used is the elaboration of the Mathematics Modeling of the Problem, approached as a problem of Binary Whole Linear Programming solved in the LINGO software 6.0. The heuristic method is the algorithm based in Generic Algorithm (based in Darwin's theory of the evolution of species, where the best beings survive). The model is applied in the construction of the school timetable of the Municipal School Planalto Pinheiro, in the courtship of Araucária – Paraná, making, this way, the comparison among: the timetables generated by the prototype, the timetable generated by the commercial software and the timetable generated manually in the teaching institution. It's possible to conclude that the timetables generated by the Exact, Heuristic and Mixed Methods got a better result than the ones generated manually and by the commercial software, according to the specificities of the Municipal Network of Araucária.

**Key-words:** school timetable, problem of binary linear optimization, Exact, Heuristic and Mixed Methods (algorithms).

## 1 INTRODUÇÃO

No início do período letivo, em qualquer instituição de ensino, há sempre a preocupação com a distribuição de turmas, dias e horários que cada professor terá que assumir.

Apesar de todo o avanço computacional, a maioria das escolas ainda realiza a distribuição da carga horária de professores manualmente, tornando o trabalho demorado e envolvendo praticamente todo o corpo docente e pedagógico, secretaria e direção na busca de otimizar e satisfazer as preferências de seus professores.

No mercado há softwares que elaboram grade horária escolar, mas o custo financeiro destes são elevados pois geralmente não é utilizado mais que duas vezes ao ano. Estes ainda trazem muitas restrições e sugestões tornando o cadastro cansativo e complexo.

### 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo que utilize métodos da Pesquisa Operacional para obter a distribuição da carga horária, com uma interface simples, que possa ser aplicado na rede municipal de ensino de Araucária/PR, devido suas particularidades.

Esta interface utiliza três algoritmos (exato, heurístico e misto) para encontrar soluções que otimizem a preferência de cada professor, as exigências pedagógicas e operacionais, como por exemplo, uma disciplina não poderá ter mais que um professor, ou ainda, nenhuma disciplina poderá ter três aulas ministrada em um único dia.



Para verificar a eficiência dos métodos, o protótipo é aplicado na construção do horário escolar da Escola Municipal Planalto dos Pinheiros, no município de Araucária-PR.

A análise dos resultados é realizada pela avaliação da satisfação dos professores referente aos que possuem aula na hora atividade (dia determinado pela Secretaria Municipal da Educação de Araucária (SMED) onde os professores devem permanecer na escola para realizar atividades extra-classe como elaboração de provas e atividades lúdicas), preferência por dia de trabalho e aulas geminadas.

## 1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A distribuição das turmas para os professores da rede municipal de ensino de Araucária é realizada uma semana antes do início do período letivo. Desta forma a direção possui um prazo pequeno para solucionar um problema que envolve muitas variáveis e algumas restrições impostas SMED, como exemplo, nenhum professor, com exceção dos professores que possuem 16 hora/aula (h/a) em sala, poderá ter aula no dia de hora-atividade de sua disciplina, pois a mantenedora (SMED) oferece com frequência cursos de aperfeiçoamento.

Outras restrições ainda surgem quando o professor possui 15 horas/aulas (h/a) em sala de aula. Estas aulas devem ser designadas em apenas três dias para que o professor possa ter seu dia sem vínculo com a SMED, assim minimizando a ida ao colégio, pois grande parte dos professores reside em Curitiba.

Desta forma o protótipo otimizará o problema em um tempo hábil e ainda possibilitando mudanças durante o ano letivo.

### 1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O protótipo, após os professores terem escolhido suas turmas, gera o horário sem dar opções de troca, assim alguns professores têm seus dias de trabalho alterados o que gera muita discussão. Desta forma, para tentar solucionar o problema, algumas vezes há troca de turmas entre professores e assim gera-se novo horário escolar.

O método exato gera o melhor horário devido as restrições e pesos designados para cada professor, mas o custo financeiro do software LINGO que resolve este problema é elevado. Assim, é desenvolvido um método heurístico baseado na teoria do Algoritmo Genético para resolver o problema. Mas esse algoritmo nem sempre terá a melhor solução, mas por outro lado não há custo financeiro pois é implementado.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em onze capítulos, incluindo esta introdução.

No segundo capítulo é descrito o problema e as restrições a que o mesmo está sujeito.

No terceiro capítulo são apresentados problemas de designação de carga horária presentes na literatura, bem como outros problemas da Pesquisa Operacional em instituições de ensino.

No quarto capítulo é realizado um breve comentário de alguns métodos da Pesquisa Operacional e sugerido bibliografia para um estudo mais aprofundado dos mesmos.

No quinto capítulo é apresentado o estudo de caso, e os dados que são utilizados no presente trabalho.

A criação da interface está exposta no sexto capítulo.

A partir do sétimo capítulo são apresentados os métodos utilizados neste trabalho, bem como as particularidades de cada um e sua implementação.

No sétimo capítulo são apresentadas e comentadas as restrições e variáveis utilizadas na modelagem matemática do problema – Método Exato – solucionado pelo LINGO 6.0.

No oitavo capítulo é apresentado o algoritmo baseado em Algoritmo Genético (AG) - Método Heurístico - aplicado na construção de grade horária escolar, afim de otimizar a preferência dos professores.

No nono capítulo é exposto o método Misto, onde o problema é resolvido pelo método exato, sem algumas restrições, e o método heurístico é utilizado para refinar a solução, ou seja, melhorá-la.

Após as soluções serem geradas pelos métodos apresentados nos capítulos 7, 8 e 9, os resultados são comparados e apresentados no capítulo 10.

Por fim, no capítulo 11 é concluído o trabalho e são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

## 2 O PROBLEMA

Segundo PINHEIRO E OLIVEIRA (2001) o problema de construção de carga horária vem sendo abordado desde a década de 60 sendo que os primeiros trabalhos que mais se destacaram foram realizados na década de 80.

A distribuição da carga horária de professores é um problema que envolve toda instituição de ensino no início de cada período letivo.

Existem muitas restrições pedagógicas e de preferências do professor para a elaboração do horário escolar, assim o trabalho torna-se muito complexo quando esta distribuição deve ser realizada manualmente e com pouco tempo para sua execução, pois o mesmo é realizado apenas uma semana antes do início do período letivo, o que ocorre na maioria absoluta das escolas.

Para solucionar o problema da construção da grade horária pode ser utilizada a Pesquisa Operacional.

Pesquisa Operacional é uma abordagem científica que utiliza técnicas matemáticas com o objetivo de determinar como projetar, planejar e operar um sistema, geralmente sob condições de recursos escassos. Surgiu de processos de métodos de análises desenvolvidos por grupos acadêmicos ingleses que assessoraram as forças militares durante a 2ª Guerra Mundial. (PUCCINI e PIZZOLATO, 1990, p. 47)

Emprego eficiente de radares, uso de canhões anti-aéreos, táticas de bombardeios a submarinos, escoltas navais, foram alguns dos problemas estudados por este grupo.

“O sucesso dessas aplicações levou o mundo acadêmico e empresarial a procurar e utilizar as técnicas criadas em problemas de administração”. (ANDRADE, 1998, p. 1)

Existem várias metodologias determinísticas e probabilísticas que podem ser aplicadas em diferentes ambientes produtivos.

O objetivo principal da Pesquisa Operacional é determinar a melhor utilização de recursos limitados procurando determinar a programação otimizada de atividades ou recursos, fornecendo um conjunto de procedimentos e métodos quantitativos para tratar de forma sistêmica problemas que envolvam a utilização de recursos escassos, utilizando-se de modelos no processo de análise e tomada de decisão.

O Método Simplex publicado por Dantzig, em 1947, foi o marco definitivo para a disseminação da Pesquisa Operacional. Este método consiste em um algoritmo para resolução de Problemas da Programação Linear (PPL), sendo este considerado a primeira técnica da Pesquisa Operacional.

Neste trabalho, o problema de distribuição de carga horária é abordado como um Problema da Programação Linear Binária.

Neste capítulo são apresentadas as restrições as quais o problema está sujeito.

## 2.1 RESTRIÇÕES PEDAGÓGICAS E OPERACIONAIS

Algumas restrições por parte do desenvolvimento pedagógico da turma como também questões operacionais devem ser satisfeitas na elaboração de uma grade horária escolar. Estas restrições são as seguintes:

- Uma turma não poderá ter mais que duas aulas, da mesma disciplina, ministradas no mesmo dia;
- A carga horária diária da turma deve ser satisfeita (5 h/a), bem

como a carga semanal (25 h/a);

- A carga horária semanal do professor deve ser contemplada;
- A carga horária semanal de uma disciplina em cada turma deve ser satisfeita;
- Nenhuma disciplina poderá ter mais de um professor na mesma turma;
- Em cada horário não poderá ter mais que um professor na turma;
- Em cada horário o professor não poderá ministrar aulas para mais de uma turma.

## 2.2 RESTRIÇÕES – PREFERÊNCIAS DO PROFESSOR

Na elaboração de uma grade horária em uma instituição de ensino as restrições que seguem abaixo talvez sejam as mais importantes, pois tratam da disponibilidade dos professores e preferências no desenvolvimento do seu trabalho durante o período letivo:

- Preferência por aulas geminadas ou não;
- Preferência por dias de trabalho;
- Preferência por turmas (séries);

Em entrevista realizada com o corpo docente da Escola Municipal Planalto do Pinheiros, os professores foram questionados sobre o porquê de suas preferências nas três restrições.

A maioria dos professores não preferem aulas geminadas pois argumentam que o trabalho não tem um bom desenvolvimento, tornando cansativo tanto ao mesmos quanto aos alunos.

A preferência de dia de trabalho deve-se ao fato de muitos terem outras atividades a serem desenvolvidas no mesmo período, como cursos de aperfeiçoamento (complementação, especialização, mestrado) e aulas em outras escolas, além do deslocamento à escola.

Ter turmas da mesma série durante o ano letivo facilita o trabalho do professor na elaboração de suas aulas com atividades lúdicas, atividades com materiais manipuláveis e projetos a serem desenvolvidos no decorrer no período letivo.

### **3 PROBLEMAS DE DESIGNAÇÃO ESCOLAR APRESENTADOS NA LITERATURA.**

Na literatura existem vários problemas de distribuição de grade horária escolar, seja distribuição de professores ou distribuição de turmas em sala (ensalamento) ou ainda, a distribuição de professores em turmas e essas turmas em sala.

Percebe-se que na maioria dos trabalhos a distribuição é realizada no ambiente universitário. Talvez deve-se ao fato da maioria dos autores serem professores de instituições de Ensino Superior

Mas existe uma grande diferença entre a grade horária de um colégio de Ensino Médio ou escola de Ensino Fundamental em relação ao Ensino Superior.

Na maioria dos trabalhos apresentados, que envolvem o Ensino Superior, a grade horária de vários períodos não possui aula em todos os seus horários, havendo flexibilidade. Mas em um colégio esse problema é mais complexo, pois as turmas têm aulas em todos os horários e a mudança de turma de um professores implicará na mudança de outro.

Neste capítulo são apresentados trabalhos relacionados a designação de professores e turmas presentes na literatura.

#### **3.1 PROBLEMAS ABORDANDO A DISTRIBUIÇÃO DE CARGA HORÁRIA DE PROFESSORES EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO**

COSTA (1994) trabalha com a modelagem matemática para o problema de designação de professores no Colégio da Polícia Militar do Paraná – Curitiba, resolvendo o problema no software GAMS.

A grande dificuldade do trabalho deve-se ao fato deste software não gerar soluções para problemas com mais de 200 variáveis inteiras binárias,



sendo que a modelagem completa possui 4500 variáveis binárias e 7180 restrições. Desta forma o trabalho é dividido em duas fases.

Na primeira fase são determinados os dias em que o professor trabalhará dentre 10 (dez) opções de horário que cada professor sugere. Na segunda fase ocorre a distribuição turma a turma.

O grande problema nesta modelagem deve-se ao fato de não haver controle na última turma, e não ser possível fazer trocas uma vez que todos os horários devem ser refeitos.

Como sugestão para trabalhos futuros COSTA indica a construção de uma interface e sugere abordar o assunto privilegiando o caráter pedagógico, deixando as preferências do professor em segundo plano.

COLORNI, DORIGO e MANIEZZO (1998) aplicam e realizam comparação entre os algoritmos *Simulate Annealing*, Busca Tabu e duas versões do Algoritmo Genético (com e sem busca local) ao problema de designação de professores em escola padrão da Itália.

“Nossos resultados mostram que o Algoritmo Genético com busca local e Busca Tabu baseado no problema de relaxamento temporário possuem uma melhor performance que *Simulated Annealing* e horário manuais.” (COLORNI, DORIGO e MANIEZZO, 1998, p. 275)

BRAZ JUNIOR (2000) apresenta uma solução para o problema de geração da grade horária em instituição de ensino superior utilizando abordagem heurística (Algoritmo Genético) elaborando uma interface para que a modelagem possa ser aplicada em outras instituições de ensino. Na implementação do método utiliza restrições como disponibilidade de professores e outros recursos.

CONCILIO (2000) realiza a aplicação conjunta de computação evolutiva e otimização com restrições a dois estudos de caso. O primeiro

estudo de caso é o problema de geração de turnos completos em torneios e o segundo é a definição de grade horária em instituição de ensino.

LUCAS (2000) realiza um estudo sobre os conceitos fundamentais do Algoritmo Genético, demonstrando algumas vezes a representação do indivíduo como a grade horária semanal da turma, mostrando como trabalhar a função objetivo para a resolução do problema. Assim, busca uma solução para o arranjo de horários e salas, dando ênfase para o horário, embora não demonstre a implementação de um algoritmo ou um sistema para solução.

PINHEIRO e OLIVEIRA (2001) apresentam um ambiente de apoio a construção de horário escolar na WEB. Trata-se de um trabalho aplicado as escolas da rede estadual de ensino do Ceará, onde criam uma interface que habilita algumas restrições para geração do modelo matemático a ser resolvido, mas não informa o software comercial que o resolverá.

SOUZA, MACULAN e OCHI (2001) trabalham o problema da designação de professores utilizando o procedimento GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures), onde a solução é gerada por um algoritmo parcialmente guloso e o refinamento é realizado utilizando o algoritmo Busca Tabu. Desta forma “enquanto o procedimento construtivo parcialmente guloso gera boas soluções iniciais e diversifica a busca, o procedimento de Busca Tabu navega, a partir delas, pelo espaço de soluções.” (SOUZA, MACULAN e OCHI, 2001, p. 221).

KOTSKO (2003) desenvolve a modelagem matemática para o problema em escola da rede municipal de Prudentópolis-PR, sendo resolvida através do software LINGO 6.0. No trabalho todas as restrições, ou grupos de restrições pois o LINGO permite alguns comandos como o FOR, foram

gerados manualmente, ou seja, todas foram digitadas diretamente no LINGO 6.0, num total de 1120 restrições e 2523 variáveis binárias.

A grande dificuldade de KOTSKO (2003) em criar uma modelagem específica para a escola é uma possível alteração de dados de professores, como exemplo, a disponibilidade. Caso ocorra alguma mudança, as restrições relativas a essas modificações têm que ser rescrita dificultando o trabalho. Assim uma interface que gere todas as restrições facilita o trabalho.

A modelagem matemática do referido problema segue da seguinte forma:

#### Variável de decisão

$x_{ijkl}$  - indica se o professor  $i$  atende, ou não, a turma  $j$ , no horário  $l$ , do dia  $k$ .

#### Função objetivo

$$MaxZ = \sum_i \sum_l \sum_{k \in k_i} \sum_{j \in j_i} p_{il} x_{ijkl}$$

$j$  – turma (1 .... 12)

$i$  – professor (1 .... 21)

$k$  – dia da semana (2 ... 6)

$l$  – horário da aula no dia (1 .... 5)

$p_{il}$  - peso referente a preferência pelo horário  $l$  de aula do professor  $i$ .

Restrição: Um único professor por turma.

$$j \in j_i$$

$$k \in k_i \text{ (dias da semana que o professor } i \text{ trabalha)}$$

$$l = 1, \dots, 5$$

$$\sum_i \sum_{k \in K_i} \sum_l x_{ijkl} = 1 \quad j = 1, \dots, 12$$

Restrição: Uma única turma por professor.

$$i = 1, \dots, 21$$

$$k \in k_i$$

$$l = 1, \dots, 5$$

$$\sum_{j \in j_i} x_{ijkl} = 1$$

Restrição: Não ter mais de duas aulas no mesmo dia na mesma turma.

$$\sum_{j \in j_i} \sum_{k \in K_i} \sum_l x_{ijkl} \leq 2 \quad i = 1 \dots 21$$

Restrições específicas para o Professor A.

$$j_A = \{9, 10, 11, 12\} \text{ turma do professor A}$$

$$k_A = \{2, 3, 4, 5\} \text{ dias de trabalho do professor A}$$

$$k \in k_A$$

$$j \in j_A$$

$$\sum_{l=1}^5 x_{1,jkl} \leq 2$$

$$\sum_{l=1}^5 \sum_{k=2}^5 x_{1,jkl} = N_{1,j} \quad j \in j_A, \text{ onde:}$$

$N_{1,9} = 2, N_{1,10} = N_{1,11} = 5, N_{1,12} = 3$  representa o número de aulas do professor A em cada turma que atende.

Para cada professor são geradas restrições específicas conforme seus dias de trabalhos e turmas.

Através dos pesos específicos de cada professor  $p_{il}$ , o problema força que as primeiras ou últimas aulas sejam vagas caso ocorra horário vagos para algum professor.

Ao final do trabalho KOTSKO sugere que em trabalhos futuros seja realizada a interface com usuário e novas adequações aos pesos dos professores, pois da forma como é abordado há uma tendência de privilegiar os professores mais antigos no colégio.

Outra sugestão é solucionar o problema por um método exato e um método heurístico.

BORGES (2003) apresenta um estudo da aplicação de Algoritmos Coevolutivos para *Timetabling*. Este algoritmo é um extensão do Algoritmo Genético onde os indivíduos são divididos em espécies. Assim, cada espécie é definida como a grade de um período do curso de Ciência da Computação

da Universidade Federal do Paraná. Desta forma, trabalha-se as espécies paralelamente e os indivíduos de uma espécie que obtiverem um *fitness* baixo não prejudicam outras espécies. Mas os indivíduos não são independentes, pois a solução do problema deve contemplar todas as espécies.

BRUNA, COSTA e POZO (2004) trabalham o problema da designação de professores em instituição de ensino, utilizando a técnica do Algoritmo Genético abordando a evolução cooperativa para avaliação do indivíduo. O indivíduo é codificado como a grade horária de um período, onde cada alelo (horário) contém o nome e código do professor. Há no total 15 alelos, ou seja, 5 dias da semana com no máximo 3 aulas por dia.

Para o cálculo do fitness, a preferência foi transcrita em três valores:

- 0 (zero) – insatisfação em ministrar aulas no horário;
- 3 – satisfação parcial em ministrar aulas no horário; e
- 5 – plena satisfação em ministrar aulas no horário.

A fórmula referente a 60% do fitness total é a seguinte:

$$fitness(x) = \left( \sum_{i=1}^m preferência_i * 100 \right) / (h * 5), \text{ onde}$$

$preferência_i$  é o valor da preferência do professor com relação ao horário  $i$ ;

$h$  é a carga máxima de aulas do período.

Assim o fitness total é composto por: 20% em relação a satisfação da restrição de haver no mínimo uma aula por dia; 20% em relação a ocorrência de aulas geminadas; e 60% é calculado conforme a fórmula anteriormente descrita.

Nesse trabalho há uma preocupação em extrair resultados com relação ao experimento, não a nível de uma solução do problema, mas sim da teoria do algoritmo como a percentagem da taxa de mutação, da taxa de crossover, e da taxa de elitismo, bem como a estagnação da população, entre outras características.

Em sua conclusão, BRUNA, COSTA e POZO (2004), sugerem que a técnica seja aplicada em instituição de ensino, onde os dados do experimento sejam reais.

COWLING, KENDALL e HAN (2005) desenvolvem uma hiper-heurística (composição de vários grupos heurísticas), para o problema que envolve 25 docentes, 10 localidades e 60 h/a. Algumas restrições são comentadas, entre elas nenhum docente poderá trabalhar mais que 60% dos horários disponíveis, ou seja, 36 h/a.

Na primeira fase do trabalho é aplicado o Algoritmo Genético onde cada cromossomos possui 25 genes.

A segunda fase é a implementação da hiper-heurística utilizando três grupos: heurística de adição, de intercâmbio e adição-remoção. Cada um destes grupos são subdivididos em outras heurísticas.

No caso da heurística de adição é subdivida em: adiciona-primeiro, adiciona-aleatório, adiciona-melhor, adiciona-primeiro-aumento e adiciona-maior-aumento.

A heurística de intercâmbio é subdivida em: permuta-primeiro, permuta-aleatório, permuta-primeiro-aumento e permuta-maior-aumento.

E por fim, a heurística adição-remoção foi subdivida em: adiciona-remove-primeiro, adiciona-remove-aleatório e adiciona-remove-melhor.

As heurísticas geradas nesta segunda fase estendem o Algoritmo Genético da primeira fase.

### 3.2 OUTROS PROBLEMAS ABORDADOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO

Em uma instituição de ensino nem sempre o grande problema é a designação de professor em turmas, muitas vezes o horário já é pré definido para as disciplinas e o professor trabalha em regime de dedicação exclusiva na instituição, o que ocorre na maioria das Universidades Federais e Estaduais.

Assim, os problemas a serem solucionados são outros, como exemplo, otimizar o espaço físico existente para designar a sala e bloco em que a turma terá aula e otimizar a matrícula de alunos conforme sua preferência.

ZAMBONI e SIQUEIRA (2001) em seu primeiro experimento na alocação de turmas em salas de aula, utilizam o Algoritmo Matching para a designação de 17 turmas, mas ao trabalhar com 47 turmas, o número de disciplinas foi triplicado, e o tempo computacional deste algoritmo foi inviável. Assim, optaram por aplicar as técnicas heurísticas Busca Tabu e *Simulated Annealing* obtendo resultados satisfatórios na designação de turmas em salas de aula, evitando ociosidade e colisões de horários e atendendo as particularidade de cada turma, como o número de alunos e tipo de carteiras.

LOPES e SCHOEFFEL (2002) na Universidade Regional de Blumenau (FURB) realizam trabalho semelhante ao citado acima. O Algoritmo utilizado é o Método Húngaro para Designação. Para a validação do algoritmo são designados pesos às restrições da turma em relação as salas. As restrições utilizadas no trabalho não são expostas, sendo que somente o resultado final dos pesos estão exemplificados.



SORROCHE e LOPES (2003) apresentam um sistema que sugere ao aluno o horário para cursar as disciplinas solicitadas, com objetivo de fornecer diversas possibilidades de turmas e horário para a escolha que melhor se adeqüe a sua disponibilidade. Neste sistema são implementados dois algoritmos de grafos.

Assim sendo, há uma vasta literatura relacionada a instituições de ensino. Além disto, trabalhos como roteirização de veículos escolares e localização de escolas para que atendam de forma otimizada a população são estudados e solucionados através da Pesquisa Operacional.

No próximo capítulo alguns dos métodos citados são expostos.

## 4 MÉTODOS DE DESIGNAÇÃO

Na otimização da construção de grade horária utiliza-se basicamente dois métodos para designação: exato e heurístico.

O primeiro encontra a melhor solução (solução ótima) para o problema, quando esta solução existe, satisfazendo todas as restrições impostas. O segundo procura uma solução, mas não garante que esta seja a solução ótima.

### 4.1 MÉTODOS EXATOS

Os métodos exatos procuram a melhor solução para o problema, satisfazendo todas as restrições impostas.

Através de uma modelagem matemática, transcrição do problema para linguagem matemática, o problema é resolvido pelo Método Simplex, desenvolvido por Dantzig ou outro algoritmo exato.

#### 4.1.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR (PPL)

A programação linear é a área da Pesquisa Operacional cujo modelo é representado por uma função linear das variáveis (função objetivo) e equações ou inequações lineares (restrições).

A seguir é ilustrado o modelo geral de programação linear.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \\
& \text{s.a.} \quad a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\
& \quad \quad a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\
& \quad \quad \quad \vdots \\
& \quad \quad a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m \\
& \text{e} \\
& \quad \quad x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0
\end{aligned}$$

Estudo aprofundado sobre programação linear é exposto por MURTY (1985).

#### 4.1.1.1 Programação Linear Inteira (PPLI)

É a denominação dada a PPL em que as variáveis só podem assumir valores inteiros.

Como exemplo pode-se citar a designação de pessoas para trabalhos. Não é possível designar uma fração de um operário para uma certa tarefa e a outra parte da fração a outra tarefa.

O modelo matemático de problemas da programação linear inteira (PPLI) está exposto abaixo, sendo que diferencia da programação linear pela última restrição.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \\
& \text{s.a.} \quad a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\
& \quad \quad a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\
& \quad \quad \quad \vdots \\
& \quad \quad a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m \\
& \text{e} \\
& \quad \quad x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \text{ e inteiros}
\end{aligned}$$

Alguns procedimentos são adotados ao resolver um Problema da Programação Inteira. Costuma-se resolver o problema através da Programação Linear (Método Simplex) e arredondar os valores encontrados para o número inteiro mais próximo.

Este procedimento pode ser aceitável quando os valores da variáveis são grandes, tornando o arredondamento pequeno.

Mas quando os valores são pequenos, como 0,65, para qual valor deve-se arredondar? Zero ou um?

Desta forma, algumas técnicas existem para a solução desses problemas, dentre elas: Método dos Planos de Cortes; e Método “Branch and Bound”.

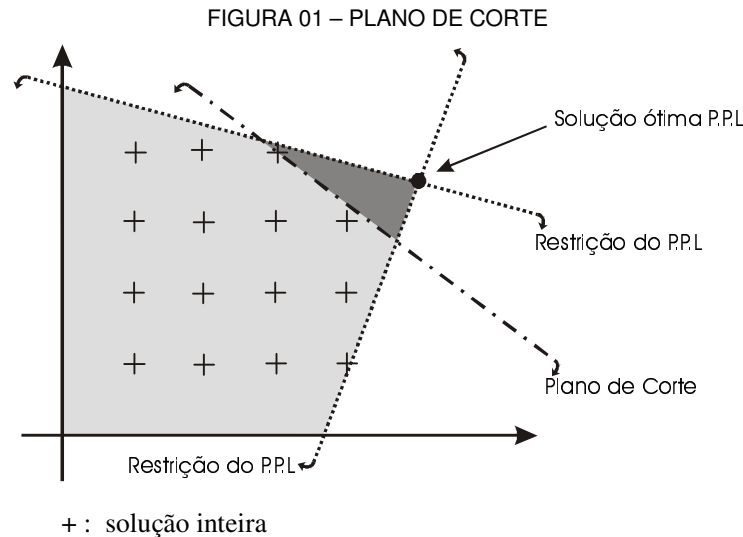
#### *Método dos Planos de Corte*

Este método, trabalhado pela primeira vez por Ralph Gomory (1958), consiste em abordar a programação inteira como um problema da programação linear e ao encontrar uma solução para este problema impõe as condições em que as variáveis devem ser inteiras.

Desta forma acrescentam-se restrições, sucessivamente, que eliminam parte do espaço de soluções, inclusive a solução ótima não-inteira, até encontrar a melhor solução inteira para o problema. Este método não elimina qualquer solução inteira.

A descrição e exemplo deste método é encontrado em PUCCINI e PIZZOLATO (1990).

A figura 01 ilustra o Método do Plano de Corte.



### *Método “Branch and Bound”*

Este método foi inicialmente apresentado em artigo publicado LAND e DOIG (1960).

O método “*Branch and Bound*”, que pode ser traduzido como “ramifique e delimite”, consiste na partição ou ramificação (*branch*) sucessiva do conjunto de soluções possíveis do problema de programação linear inteira em subconjuntos e no estabelecimento de limites (*bound*) para o valor ótimo da função objetivo, assim exclui-se os subconjuntos que não contenham a solução ótima. O limite será inferior se o problema for de minimização e superior se o problema for de maximização.

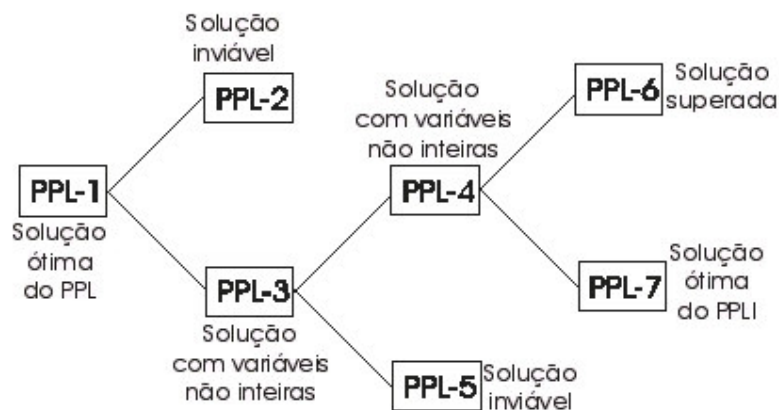
Partindo do princípio que as variáveis de um PPLI são inteiras, começa-se a resolver o PPL, ou seja, procura-se uma solução para o problema, independente de ser variáveis inteiras ou não.

Se a solução ótima do PPL contempla a restrição que as variáveis devem ser inteiras, então solução ótima do PPLI foi encontrada. Caso

contrário, divide-se o PPL em dois, através de introdução de restrições que fazem a partição do conjunto das soluções.

Assim, resolve-se os dois problemas e estabelece limites para o valor ótimo da função objetivo, e assim, eliminando diversos subconjuntos, até se alcançar a solução ótima do PPLI.

FIGURA 02 – MÉTODO “BRANCH AND BOUND”



A figura 02 exemplifica o método.

Partindo do PPL-1 (solução ótima do PPL) e considerando o problema de minimização, é introduzida restrições gerando dois subproblemas PPL-2 e PPL-3.

O PPL-2 é inviável, ou seja, não há mais o que ser explorado neste subproblema. Como o PPL-3 não é solução para o PPLI é introduzida nova restrição gerando os subproblemas PPL-4 e PPL-5.

O PPL-5 também é considerado inviável e como o PPL-4 não gerou uma solução para o PPLI nova restrição será introduzida gerando PPL-6 e PPL-7, soluções para o PPLI.

Como o valor da função objetivo do PPL-6 é maior que o valor da função objetivo do PPL-7, tem-se que a solução do PPL-7 é a solução do PPLI.

ZIONTS (1974) apresenta estudo completo deste método.

#### 4.1.1.2 Programação Linear Binária

Os Problemas de Programação Linear Binária (PPLB) representam um caso especial da programação inteira onde os valores assumidos pelas variáveis devem ser 0 (zero) ou 1 (um).

Este tipo de técnica pode ser utilizada em casos de designação, como exemplo o problema da geração de grade horária de professores.

Se o professor  $p$  estiver atendendo a turma  $t$ , no dia  $d$  e no horário  $h$ , a variável  $x_{ptdh}$  assume valor 1, caso contrário  $x_{ptdh} = 0$ .

A solução destes problemas podem ser obtidas por algoritmos como *Branch and Bound* e Balas (ZIONTS, 1974, p. 342)

### 4.2 MÉTODOS HEURÍSTICOS

“Heurísticas são regras que podem auxiliar a solucionar certos tipos de problemas, mas, não garantem que se chegue à solução ótima.” (PERKINS, 1981, apud CARVALHO, 2005, p. 3)

Em sua grande maioria esses métodos são utilizados para resolver problemas que não podem ser tratados por métodos exatos, tentando reproduzir, muitas vezes, o que é realizado manualmente.

Desta forma o objetivo principal de uma heurística é encontrar soluções de boa qualidade, muitas vezes melhores que as conhecidas, mas com um baixo custo computacional, ou seja, de forma rápida.

É comum que uma solução boa seja encontrada, e algumas vezes uma solução ótima é obtida. Desta forma, quanto maior for o número de informações (restrições) fornecidas às heurísticas, maiores são as chances de se obter uma solução que satisfaça o problema no começo das iterações.

Como em uma heurística não se pode em geral garantir que a solução encontrada seja a solução ótima, podemos limitar sua busca.

Esta limitação pode ser realizada através de um número fixo de iterações, retirada ou relaxamento de restrições, entre outras técnicas. Desta forma pode-se estar eliminando a solução ótima para o problema.

#### 4.3 MÉTODOS META-HEURÍSTICOS

“São métodos heurísticos que podem lidar com qualquer problema de otimização, ou seja, que não estão atrelados a um problema específico.” (SUCUPIRA, 2005, p 4)

Há alguns anos os métodos heurísticos eram específicos para solucionar determinados problemas. Mas devido sua restrita utilização surgiram métodos mais abrangentes que podem ser aplicados a vários problemas e são esses os métodos chamados Meta-heurísticos.

Os métodos Meta-heurísticos podem incluir várias heurísticas que tentem reproduzir um sistema que se dirija à solução para o problema de forma rápida e eficiente. Essas heurística podem ser de: construção, melhoria e busca local.

Um método de melhoria inicia-se com uma solução viável para o problema e tenta-se melhorá-la. Desta forma, este processo é repetido até que nenhuma melhoria possa ser encontrada ou o critério de parada seja satisfeito.

Dentre as heurísticas que podem compor uma meta-heurística podemos destacar: *Simulated Annealing*, Busca Tabu, Algoritmo Genético e GRASP.



#### 4.3.1 SIMULATED ANNEALING

Segundo KIRKPATRICK et al.(1983) e ARAGON et al. (1984) a origem da técnica de otimização conhecida por *Simulated Annealing* vem de 1953, quando foi usada para simular em um computador o processo de “*annealing*” de cristais. A idéia de aplicar este método para resolver problemas de otimização combinatória surgiu bem mais tarde.

O método surgiu da seguinte observação estatística: O resfriamento gradativo de um material a partir de uma alta temperatura inicial leva o material a estados mínimos de energia. Informalmente esses estados são caracterizados por uma perfeição estrutural do material congelado que não se obteria caso o resfriamento não tivesse sido gradativo.

Sob outras condições menos cuidadosas de resfriamento, o material se cristalizaria com uma energia “localmente mínima”, apresentando imperfeições estruturais. A esse processo cuidadoso de resfriamento dá-se o nome de “*annealing*”.

A referida simulação a uma temperatura fixa, consiste em dar um pequeno deslocamento a um dos átomos, computando a variação da energia do sistema. Se esta variação for negativa ou nula, o deslocamento é incorporado ao estado do sistema, que é então utilizado no passo seguinte. Caso contrário, pode-se aceitar ou não o deslocamento através de uma probabilidade.

A conceito que está por trás da proposta de ser utilizar o *simulated annealing* como ferramenta de otimização combinatória é a seguinte:

- identifica-se a função energia do sistema com a função objetivo que se quer otimizar, por exemplo minimizar, e os átomos do sistema são associados às variáveis do problema.
- para cada temperatura de uma seqüência de temperaturas decrescentes realiza-se a simulação descrita. No final do

processo, espera-se que o sistema estacione em um estado de energia globalmente mínima, por analogia com a física do problema.

A maior dificuldade em utilizar este algoritmo é decidir quando a temperatura será adaptada.

A verificação da verdadeira condição de equilíbrio é realmente bastante difícil. Uma solução simples é introduzir parâmetros que fixem o número de iterações máximas para ser usado com uma certa temperatura, provavelmente dependendo do número de variáveis do problema.

Um estudo mais aprofundado deste algoritmo é apresentado em REEVES (1995).

#### 4.3.2 BUSCA TABU

A Busca Tabu (BT) é uma heurística que teve origem em meados da década de 70, sendo desenvolvida e melhorada nos trabalhos de GLOVER (1989), HANSEN (1986) e LAGUNA (1991) contribuindo assim para melhorar o seu desempenho e implementação.

A BT é uma técnica para guiar a busca local de modo a permitir que ela escape do ótimo local encontrado.

Durante a execução do algoritmo é mantida uma lista, usualmente de tamanho fixo, com os melhores indivíduos encontrados. Desta forma, preservando os melhores indivíduos, tem-se que o espaço de busca é otimizado.

Após a aplicação de alguma heurística é verificado se o indivíduo encontrado é uma boa solução. Se for, este é adicionado na lista e automaticamente um indivíduo existente na lista é removido.

Quando um indivíduo atinge seu chamado nível de expiração (também chamado de prazo tabu) este pode ser removido da lista.

O problema deste algoritmo está no tamanho da lista e no tempo de aspiração de cada indivíduo, pois estes devem ser calibrados de tal forma que o problema apresente uma solução de boa qualidade em menor tempo.

Assim, apesar da tentativa de escapar dos mínimos locais, o BT não oferece nenhuma garantia que irá produzir uma solução ótima.

Estudo completo sobre Busca Tabu pode ser encontrado em GLOVER (1989) e LAGUNA (1991)

#### *4.3.3 ALGORITMO GENÉTICO*

Segundo GOLDBERG (1989) o Algoritmo Genético (AG) é um algoritmo de busca baseado nos mecanismos de seleção natural e genética natural das espécies da teoria de Darwin onde os melhores indivíduos, os mais adaptáveis, sobrevivem.

A maior parte das pesquisas relativas a AG's é baseada principalmente nos trabalhos de HOLLAND (1992) e GOLDBERG (1989).

Segundo GREFENSTETTE (1986), AG é um iterativo que mantém uma população de estruturas, chamadas de indivíduos, as quais representam as possíveis soluções para um determinado problema.

A cada nova geração (iteração) os indivíduos, gerados através de uma combinação realizada por uma função de avaliação com uma estrutura de informações alteradas aleatoriamente, são avaliados e verifica-se o grau de adaptabilidade à população. Com base neste processo gera-se uma nova

população de possíveis soluções utilizando operadores genéticos (os mais comuns são inversão, mutação e crossover).

Desta forma, ao longo de cada geração pressupõe-se que os indivíduos se adaptem melhor a população e convirjam para uma boa solução do problema. De acordo com algum critério de parada (número de iterações, satisfação de restrições,...), o indivíduo mais apto é então a solução para o problema. Assim o AG é uma Meta-heurística apoiada por várias heurísticas de melhoramento que procuram os melhores indivíduos, como os seres humanos, que representem melhor as condições (restrições) impostas ao algoritmo.

Por ser uma heurística não espera-se que AG encontre a solução ótima, ainda mais quando trabalha-se com problemas bastante complexos para o qual outros métodos de otimização não são eficientes, ou intratáveis por métodos convencionais de otimização dentro de um tempo viável.

A principal característica do AG é que trabalha com uma população e não um ponto isolado na busca de um melhor indivíduo.

A estrutura de funcionamento do AG é a seguinte:

- 1) Inicializa uma população (A) através de uma heurística;
- 2) *Cálculo do fitness*. Avalia a população;
- 3) Seleciona indivíduo(s);
- 4) *Operadores Genéticos*. Aplica operador genético – realizado através de uma heurística de melhoramento;
- 5) *Cálculo do fitness*. Avalia o resultado da nova população (B);
- 6) *Critério de seleção*. Se a população B for melhor que A comparando o fitness ou segundo uma probabilidade, desconsidere a população A e a nova população passa a ser B. Caso contrário desconsidera B e mantém a população A;

- 7) *Critério de parada.* O AG deve parar? Em caso de resposta negativa volte ao passo 3, caso contrário esta é uma solução para o problema, PARE.

## Operadores Genéticos

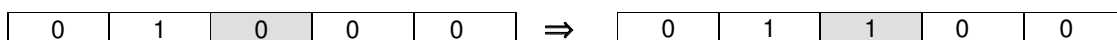
Muitos operados são propostos por GOLDBERG (1989) e outros. Os operadores genéticos mais freqüentemente utilizados são: inversão, mutação *crossover* e seleção. Estes são os responsáveis por todas as transformações sofridas pela população, mas possuem funções bastante distintas.

O operador genético *Mutação* é a modificação da informação genética de um gene, sendo o fator fundamental para garantir a biodiversidade, assegurando que o espaço de busca seja explorado a partir de uma parte de sua extensão.

Geralmente é aplicado com uma taxa de probabilidade reduzida, mas muitos autores o consideram o fator mais importante e trabalham somente com este operador genético.

Este operador tem o papel fundamental de evitar uma convergência prematura da solução, que ocorre quando a população se estabiliza com uma adaptação pouco adequada. Esta convergência prematura pode ser verificada quando um super-indivíduo domina o processo seletivo e sendo incapaz de gerar filhos melhores, transmite suas características por toda a população.

FIGURA 03 – OPERADOR GENÉTICO MUTAÇÃO



O operador genético *Crossover* cria novos indivíduos para a população através da recombinação de partes diferentes de dois indivíduos selecionados.

Primeiramente escolhe-se um ponto de *crossover* aleatoriamente (para *crossover* simples de 1 ponto). Dois novos indivíduos são gerados.

Neste operador os novos indivíduos são chamados de filhos e os indivíduos que “doaram” suas cargas genéticas são chamados de pais.

Um variação bastante usual deste operador é utilizar dois, ou mais, pontos de *crossover*. Seja qual for o esquema, deve ser mantida a integridade dos genes representados pelo cromossomo.

FIGURA 04 – OPERADOR GENÉTICO *CROSSOVER* DE UM PONTO

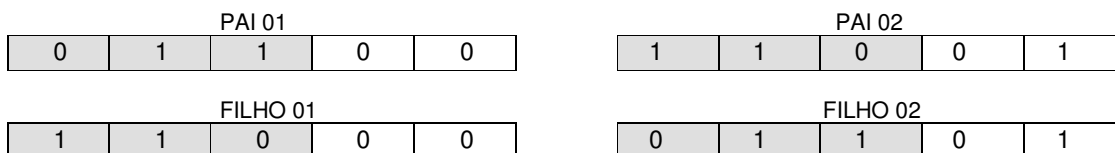
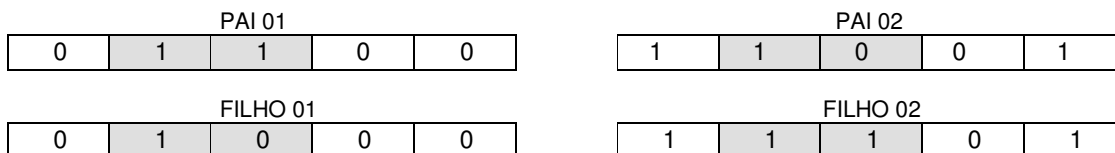
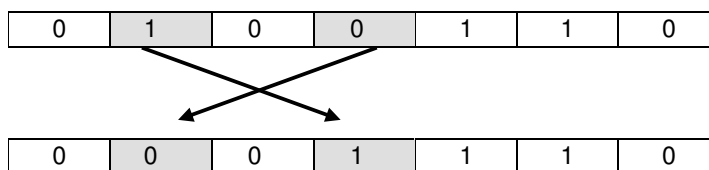


FIGURA 05 – OPERADOR GENÉTICO *CROSSOVER* DE DOIS PONTOS



O operador genético *Inversão* reordena as posições dos genes dentro do cromossomo. Escolhe-se dois pontos de inversão aleatoriamente e os genes entre estes dois pontos são trocados de lugar. Em termos gerais, a inversão tem um efeito semelhante a aplicação de várias mutações

FIGURA 06 – OPERADOR GENÉTICO *INVERSÃO*



Certos autores, como HOLLAND (1992) e HOFFMEISTER e BÄCK (1990), não consideram a seleção como um operador genético e sim como uma parte integrante do processo. Neste trabalho será considerada esta abordagem.

## **Seleção**

Existem alguns métodos de seleção do indivíduo para a próxima geração, dentre os que se destacam temos *Roulett Wheel*, Seleção Salvacionista e Seleção Baseada em *Rank*.

O *Roulett Wheel* (GOLDBERG, 1989) é um algoritmo clássico para seleção. Ele consiste em atribuir uma probabilidade a cada indivíduo, proporcional ao seu fitness, em relação a percentagem que este representa do somatório do fitness de todos os indivíduos da população.

Desta forma, sorteia um número aleatório e verifica se o indivíduo é escolhido para a próxima geração ou não. Fica evidente, que quanto maior o fitness de um indivíduo, maior é a probabilidade que seja escolhido, ou seja, maior é a chance do mesmo passar a próxima geração.

Em contra partida, não há como garantir que o indivíduo que possui o maior fitness seja o escolhido.

O algoritmo de Seleção Salvacionista (FOGEL, 1994) (MICHALEWICZ, 1996) mantém os melhores indivíduos da geração atual na próxima geração. Desta forma estes indivíduos continuam a contribuir na

geração de descendentes que compõem as próximas gerações, mas pode, prematuramente, gerar super-indivíduos e a solução se estagnar.

A Seleção Baseada em *Rank* elabora uma lista ordenada dos fitness dos indivíduos para determinar a probabilidade de seleção.

Estudo completo sobre Algoritmo Genético é exposto em GOLDBERG (1989).

#### 4.3.1 GRASP (*GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURES*)

O algoritmo GRASP, desenvolvido por FEO e RESENDE em 1992, é uma meta-heurística onde cada iteração é composta de duas fases: construção e busca local.

Na primeira fase é obtida a solução por um algoritmo guloso (heurística) e na segunda fase esta solução é trabalhada utilizando um algoritmo de busca local, como exemplo o Busca Tabu, até que se obtenha uma solução melhor que a solução anterior.

O algoritmo pode ser estudado em FEO e RESENDE (1992).



## **5 O PROBLEMA REAL – ESCOLA MUNICIPAL PLANALTO DOS PINHEIROS**

A Escola Municipal Planalto dos Pinheiros – Educação Infantil, Ensino Especial e Ensino Fundamental, inaugurada em 12 de fevereiro de 2003, está situada na Rua Manoel Ribas, 3561, no Jardim Planalto no município de Araucária/PR, região metropolitana de Curitiba, distante da capital 12km, atendendo as comunidades dos bairros Jardim Planalto, Gralha Azul, Costeira, Tupi e São Francisco.

A Escola Municipal Planalto dos Pinheiros, recebeu este nome por situar-se numa região alta com muitos pinheiros, árvore símbolo do Estado do Paraná, que também deu o nome origem da cidade.

Conforme a PROPOSTA PEDAGÓGICA (2003) a comunidade escolar vive na zona urbana, tendo como profissões predominantes: os trabalhos temporários nas indústrias da região, auxiliares de produção de indústrias e trabalhos informais. Assim gera-se um alto índice de desemprego, onde geralmente uma única pessoa é responsável pelo orçamento da família.

Segundo a SMED (2004) a escola possui 26 alunos matriculados na classe especial, 28 no pré escolar, 275 alunos matriculados de 1ª a 4ª série e 323 matriculados de 5ª a 8ª série, totalizando 652 alunos.

A escola comporta 12 salas de aula, uma sala para laboratório de informática e uma biblioteca que também é usada como sala de vídeo.

A escola de Ensino Fundamental está organizada por séries, num total de 200 dias letivos e 800 h/a.

A Educação Infantil e o Ensino Fundamental de 1ª a 4ª séries são oferecidos no período matutino. Estas séries possuem diariamente 4 h/a. Durante 4 dias da semana são oferecidas as disciplinas: Língua Portuguesa, História, Geografia, Ciências e Matemática, ministradas por um professor; e um dia da semana 4h/a com as disciplinas: Educação Artística e Educação Física, ministradas por outro professor.

O Ensino Especial e a Ensino Fundamental de 5ª à 8ª séries são oferecidos no período vespertino.

#### 5.1 O ENSINO FUNDAMENTAL – 5ª A 8ª SÉRIES

Segundo a LDB (1996) o Ensino Fundamental de 5ª a 8ª séries deve possuir uma carga horária de no mínimo 75% de disciplinas que compõem a Base Nacional Comum e no máximo 25% de Parte Diversificada.

As disciplinas que compõem a Base Nacional Comum são: Língua Portuguesa, Matemática, Ciências, Geografia, História, Educação Física e Artes.

Na rede municipal a parte diversificada do ano letivo de 2004 é composta por: Língua Estrangeira Moderna – Inglês, Matemática Experimental e Literatura Infanto-juvenil. Sendo a disciplina de Matemática Experimental ministrada pelo professor de Matemática e a disciplina de Literatura Infanto-juvenil ministrada pelo professor de Língua Portuguesa.

A carga horária das disciplinas em cada série é apresentada na tabela 01.

TABELA 01 - CARGA HORÁRIA POR SÉRIE

DISCIPLINA	5ª SÉRIE	6ª SÉRIE	7ª SÉRIE	8ª SÉRIE
Língua Portuguesa	3	4	3	5
Matemática	4	3	5	3
Ciências	3	3	3	3
Geografia	3	3	2	2
História	3	3	3	3
Artes	2	2	2	2
Educação Física	3	3	3	3
Inglês	2	2	2	2
Matem. Experim.		2		2
Literat. Inf.-juvenil	2		2	
TOTAL	25	25	25	25

FONTE: SMED (2004)

## 5.2A OBTENÇÃO DE DADOS

Os professores da rede municipal de ensino de Araucária são concursados e trabalham 20 h/a por padrão.

Desta carga horária, 5 h/a são destinadas a hora-atividade onde o professor permanece na escola afim de preparar seu planejamento, atividades lúdicas, avaliações e outras funções que o magistério exige, assim, o professor trabalha até 15h/a com alunos em sala de aula.

Para facilitar a oferta de assessoramento pedagógico aos professores durante o ano letivo, cada disciplina tem sua hora-atividade em um dia da semana determinado pela SMED. Em 2004, por exemplo, os professores de matemática cumpriam sua hora-atividade na terça-feira. Neste dia a mantenedora solicita que nenhum professor desta disciplina exerça sua função em sala de aula. Ocorre que muitas vezes, para que o horário seja “fechado” (termo usado pelos professores), é necessário que alguns professores tenham aula nesse dia. Caso isto ocorra, cada docente poderá lecionar somente uma aula neste dia.

Devido ao deslocamento, pois a maioria dos professores reside em Curitiba, as 15h/a em sala de aula são designadas em três dias. Assim, o professor tem um dia da semana que não possui vínculo com a prefeitura (dia de não vínculo).

As turmas são designadas (escolhidas) em acordo comum com os professores das disciplinas. Desta forma, o problema maior na geração da grade horária para escola da rede municipal é a designação dos dias (na grande maioria três) que o professor deverá trabalhar, sendo que estes dias não podem coincidir com o dia da hora-atividade, e ainda satisfazer a preferência da maioria dos professores em relação a sua opção para o dia de não vínculo.

Para elaborar a grade horária, os professores preencheram um questionário que solicita a preferência de seu dia de não vínculo, as turmas escolhidas para desenvolver o trabalho durante o ano letivo; e preferência por aulas geminadas (ANEXO 01).

Assim, a distribuição dos professores para o ano letivo de 2004 nas turmas da Escola Municipal Planalto dos Pinheiros está apresentada na tabela 02. A preferência do dia de não vínculo e aulas geminadas apresentam-se na tabela 03.

TABELA 02 - CARGA HORÁRIA DO PROFESSOR

Disciplina	Professor	5ª A	5ª B	5ª C	5ª D	6ª A	6ª B	6ª C	7ª A	7ª B	8ª A	TOTAL
Língua Portuguesa e Literatura	Carlos		5	5	5							15
	Marie	5							5	5	5	20
Infanto-juvenil	Lúcia Helena					4	4	4				12
Matemática e Matemática Experimental	Anderson								5	5	5	15
	Edilson					5	5	5				15
	Valmir	4	4	4	4							16
Ciências	Regyna Vera	3	3	3	3	3	3	3	3	3		15
											3	15
Geografia	Clarice					3	3	3	2	2		13
	Mariselma	3	3	3	3						2	14
História	Rafael			3	3				3	3	3	15
	Rosália	3	3			3	3	3				15
Artes	Jucimara	2				2	2	2	2	2	2	14
	Rossano		2	2	2							06
Educação Física	Gisele					3	3	3	3	3		15
	Marta	3	3	3	3						3	15
Inglês	Dayana					2	2	2				06
	Noeli	2	2	2	2				2	2	2	14
TOTAL		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	250

FONTE: SMED (2004)

Na tabela 03 a preferência pelo dia de não vínculo do professor está expressa da seguinte forma: o número 01 indica a primeira opção do

professor, o número 02 a segunda opção, o número 03 a terceira opção e o número 04 a quarta opção. A letra X indica o dia de hora-atividade.

Observa-se que a professora Marie não possui dia de não vínculo pois possui 20 h/a em sala de aula (5h/a extraordinária).

TABELA 03 – PREFÊNCIA DO DIA DE NÃO VÍNCULO E AULAS GEMINADAS

Professor	segunda-feira	terça-feira	quarta-feira	quinta-feira	sexta-feira	aulas geminadas
Anderson	03	X	04	02	01	Não
Carlos	X	01	02	03	04	Sim
Clarice	03	02	X	04	01	Não
Dayana	01	X	04	03	02	Não
Edilson	04	X	02	01	03	Não
Gisele	02	03	04	X	01	Não
Jucimara	01	02	03	X	04	Sim
Lúcia Helena	X	03	01	04	02	Sim
Marie	X					Sim
Mariselma	03	01	X	04	02	Não
Marta	02	03	04	X	01	Não
Noeli	01	X	03	04	02	Não
Rafael	01	04	02	03	X	Não
Regyna	02	03	X	01	04	Não
Rosália	04	02	01	03	X	Sim
Rossano	02	04	03	X	01	Não
Valmir	02	X	01	03	04	Não
Vera	04	03	X	01	02	Não

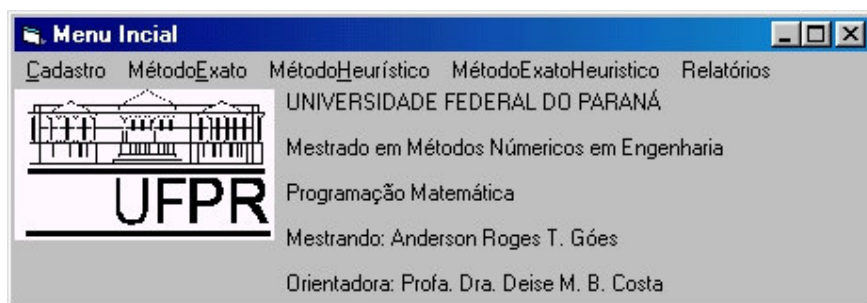
## 6 A CRIAÇÃO DA INTERFACE

O presente trabalho desenvolve um protótipo que propõe solução para o problema por três métodos: exato, heurístico e misto. Desta forma há a necessidade em criar uma interface para que posteriormente possa ser aplicado a qualquer escola da rede municipal de Araucária.

A interface foi criada com o software Visual Basic 6.0, sendo desenvolvido primeiramente o cadastro, alteração e exclusão de dados. Todas as informações são salvos em arquivos textos (\*.txt).

A tela principal do protótipo é apresentada na figura 07.

FIGURA 07 – TELA “MENU INICIAL”



Acessando o menu “Cadastro” (figura 08) o usuário cadastra o turno. Caso o usuário não faça a escolha do turno aparece a tela de escolha do turno (figura 09) e este deverá efetuar a escolha.

Ao escolher o menu “Disciplinas” (figura 10) o usuário adiciona ou remove as disciplinas ofertadas na escola conforme a grade curricular.

FIGURA 08 – TELA “MENU CADASTRO”

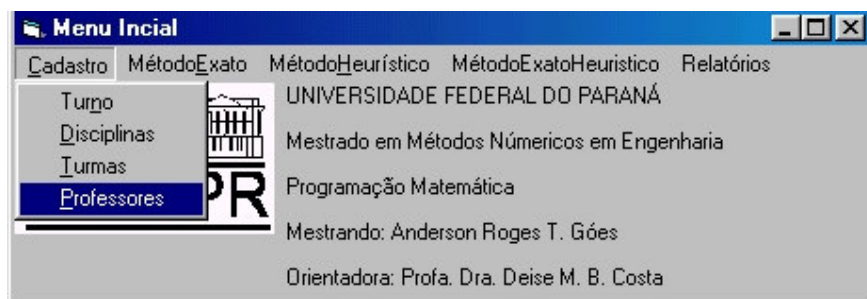


FIGURA 09 – TELA “TURNO”

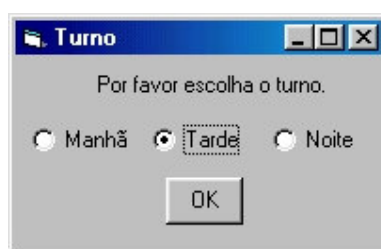


FIGURA 10 – TELA “DISCIPLINAS”



Escolhendo o menu “Turmas” (figura 11) o usuário pode cadastrar e remover turmas, visualizar as disciplinas, carga horária e o professor que está atendendo a turma.

Ainda nesta tela há o cadastro da carga horária de cada disciplina em cada série.

FIGURA 11 – MENU “TURMAS”

**Séries e turmas cadastradas**

Turmas cadastradas: 5 A [Remover]

**Cadastrar nova série e/ou turma**

Série: [ ] Turma: [ ] [Cadastra]

**Cadastrar carga horária da série**

Série: 5 [ ]

☐ 2 h/a semanais  
☐ 3 h/a semanais  
☐ 4 h/a semanais  
☐ 5 h/a semanais

[Próxima disciplina]

**Disciplina, carga horária e professor da turma 5 A**

ARTES - ch 2 - prof. JUCIMARA  
 CIÊNCIAS - ch 3 - prof. VERA  
 EDIFICA - ch 3 - prof. MARTA  
 GEOGRAFIA - ch 3 - prof. MARISELMA  
 HISTÓRIA - ch 3 - prof. ROSALIA  
 INGLÊS - ch 2 - prof. NOELI  
 MATEMÁTICA - ch 4 - prof. VALMIR  
 PORTUGUÊS - ch 5 - prof. MARIE

**Disciplina e carga horária da 5ª série**

chs = carga horária semanal

ARTES - chs = 2  
 CIÊNCIAS - chs = 3  
 EDIFICA - chs = 3  
 GEOGRAFIA - chs = 3  
 HISTÓRIA - chs = 3  
 INGLÊS - chs = 2  
 MATEMÁTICA - chs = 4  
 PORTUGUÊS - chs = 5

[Remove]

[Sair]

Para cada turma é criado um arquivo texto contendo suas informações.

FIGURA 12 – ARQUIVOS REFERENTES AS TURMAS





O menu “Professores” (figura 13) cadastra, remove ou altera todos os dados referentes a cada professor.

FIGURA 13 – MENU “PROFESSORES”

The interface is titled "Professores". It is divided into several functional areas:

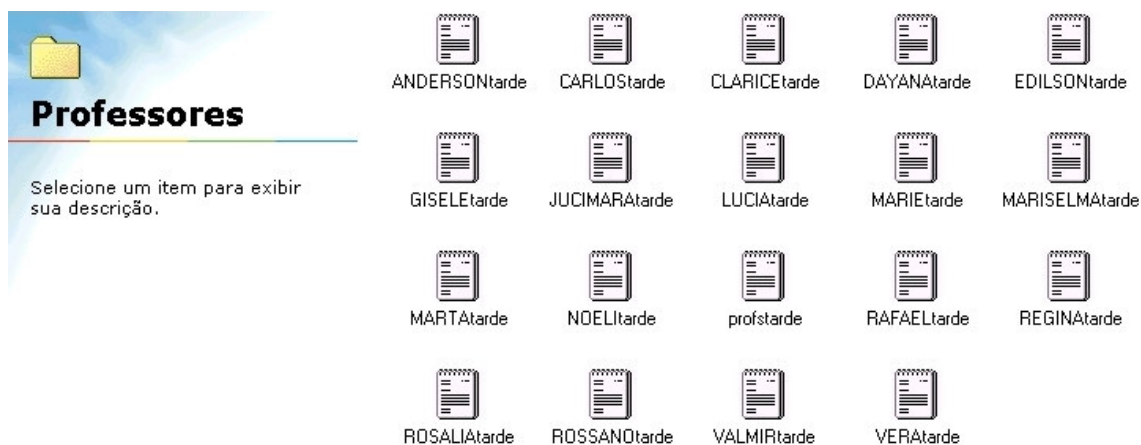
- Professores Cadastrados:** A dropdown menu currently shows "ANDERSON". Below it is a "Remove" button.
- Novo Professor:** A text input field for entering a new professor's name, followed by a "Cadastra" button.
- Turmas:** Two lists of classes. The left list, "Turmas Cadastradas", contains 5A, 5B, 5C, 5D, 6A, 6B, and 6C. The right list, "Turmas Selecionadas", contains 7A, 7B, and 8A. Between the lists are ">>" and "<<" buttons for moving classes between the two lists.
- Disciplina:** A dropdown menu set to "MATEMÁTICA".
- Tempo na Escola:** A dropdown menu set to "1 ou 2 anos".
- Prefere aulas geminadas:** Two radio buttons labeled "Sim" and "Não", with "Não" selected.
- Dia de hora atividade:** A dropdown menu set to "Terça-feira".
- Preferência dia de não viculo:** Four dropdown menus for selecting days: "1ª opção" (Sexta-feira), "2ª opção" (Quinta-feira), "3ª opção" (Segunda-feira), and "4ª opção" (Quarta-feira).
- Buttons:** "Cadastrar" and "Sair" buttons are located at the bottom center of the window.

Os dados referentes a cada professor são salvos em arquivos textos individuais e um arquivo com o nome de todos os professores é gerado para facilitar na execução do protótipo (figura 14).

Com a finalização desta etapa do trabalho obtém-se todos os dados para “alimentar” os modelos que serão utilizados para resolução do problema proposto.

Desta forma o trabalho prossegue com a interface dos métodos de solução. As particularidades dos métodos utilizados são expostos nos próximos capítulos.

FIGURA 14 – ARQUIVOS REFERENTES AOS DADOS DOS PROFESSORES



Assim, após o protótipo gerar o horário, pelo método escolhido pelo usuário, pode-se imprimir relatórios ou verificar na tela do computador o resultado obtido.

## 7 A MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA REAL PARA ABORDAGEM ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA BINÁRIA

Após criada a interface de obtenção de dados são trabalhados os métodos de resolução.

Neste capítulo é apresentado o primeiro método, **Método Exato**, onde o problema é abordado como um problema da programação linear inteira binária.

Para resolver um problema pelo método exato deve transformá-lo em uma linguagem matemática (modelagem matemática) que posteriormente é solucionado por um software, sendo neste trabalho utilizado o LINGO 6.0.

A elaboração de uma modelagem matemática é composta de três etapas, todas com o mesmo grau de importância: definição das variáveis de decisão; função objetivo; e restrições as quais o problema está sujeito.

Como já descrito no item 4.1 os métodos exatos encontram a melhor solução para o problema, se existir.

### 7.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE DECISÃO

O problema consiste em designar professores (cujas turmas já foram escolhidas) para os dias e horários de aulas de tal maneira que satisfaça a preferência da maioria dos professores.

Assim, a variável de decisão é a que irá indicar se o professor  $p$  está atendendo ou não a turma  $t$ , no dia  $d$ , no horário  $h$ .

Portanto podemos definir a variável de decisão como  $x_{ptdh}$ , onde:

$p$  – indica o professor;

$t$  – indica as turmas atendidas pelo professor  $p$ ;

$d$  – indica o dia da semana;

$h$  – indica o horário de aula em um dia da semana;

Como as variáveis que indicam designação devem ser inteiras, pois não há como designar uma fração de um professor para uma turma e outra fração para outra turma, o problema é resolvido através de métodos da programação linear inteira.

O objetivo é indicar qual turma o professor atenderá em um certo dia e horário,. Logo, o problema é binário, onde a variável é 1 (um) se o professor  $p$  estiver atendendo a turma  $t$ , no dia  $d$ , no horário  $h$ , caso contrário a variável é 0 (zero). Assim o problema é de programação linear inteira binária.

O LINGO 6.0 resolve este problema através do método “Branch and Bound” para o problema da programação linear binária.

#### *7.1.1 NÚMERO DE VARIÁVEIS DO PROBLEMA REAL*

Na grade curricular da Escola Planalto dos Pinheiros existem 8 (oito) disciplinas. Portanto cada uma das 10 turmas é atendida por 8 professores, conforme a distribuição no ano letivo de 2004 (tabela 02). Assim são geradas 80 restrições para cada dia (seg,..., sex) e cada horário (1,...,5).

Como para cada professor são geradas apenas as variáveis referentes as turmas que atende, estas são as mesmas geradas pelas disciplinas em cada turma.

Logo tem-se  $80 \times 5 \times 5 = 2000$  variáveis do tipo  $x_{ptdh}$ .

Exemplificando a variável  $x_{ptdh}$  temos:

$$x_{Noeli,5,4,2} = \begin{cases} 1, & \text{se a professora Noeli atender a turma 5 (6ª A) na} \\ & \text{quarta-feira, no segundo horário.} \\ 0 & \text{(zero), caso contrário.} \end{cases}$$

As próximas variáveis definem o total e os dias de trabalho que cada professor deve atuar em sala de aula.

$$s_{pd} = \begin{cases} 1, & \text{se o professor } p \text{ trabalha no dia } d \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$s_{pd_2} = \begin{cases} 1, & \text{se o professor } p \text{ trabalha 1 aula no dia da} \\ & \text{hora atividade } d_2. \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Assim o problema real gera 90 variáveis que definem os dias de trabalho: 18 professores x 5 dias.

No total, o problema real gera 2090 variáveis binárias.

Definidas as variáveis de decisão deve-se definir a função objetivo.

## 7.2 DEFINIÇÃO DA FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo, para esta modelagem, deve maximizar a preferência dos professores.

Para cada professor é designado o peso (*PP*) em relação ao tempo (anos) que trabalha na escola. Este peso é definido da seguinte forma:

- 01 para professores que estão trabalhando 1 ou 2 anos na escola;
- 03 se for 3 a 5 anos;
- 05 se o tempo de trabalho na escola for 6 a 10 anos; e
- 07 se o tempo for acima de 10 anos.

Como a Escola Municipal Planalto dos Pinheiros foi inaugurada em 2003 todos os professores obtiveram peso igual a 01. Mas a interface permite mudanças caso se queira privilegiar algum professor.

A preferência dos professores em relação aos dias de trabalhos são transformadas em pesos (*PD*) da seguinte forma:

- Se o professor trabalha dois dias: o dia de hora-atividade recebe peso 04; a primeira opção de dia de não vínculo recebe peso 01; a segunda peso 01; a terceira peso 08; e a quarta peso 08.
- Se o professor trabalha três dias: o dia de hora-atividade recebe peso 04; a primeira opção de dia de não vínculo recebe peso 01; a segunda peso 08; a terceira peso 08; e a quarta peso 08.
- Se o professor trabalha quatro dias: o dia de hora-atividade recebe peso 04; a primeira opção de dia de não vínculo recebe

peso 08; a segunda peso 08; a terceira peso 08; e a quarta peso 08.

Como o problema tratado é de maximização, espera-se que a solução designe os professores para os dias de maiores pesos.

Os pesos em relação ao horário das aulas ( $PH$ ) são definidos da seguinte forma:

- 05 para a primeira aula;
- 04 para a segunda aula;
- 03 para a terceira aula;
- 02 para a quarta aula; e
- 01 para a quinta aula.

O produto  $PP.PH$  força que os professores com mais tempo de serviço na escola tenham as primeiras aulas. Mas no caso da escola em questão este peso não terá utilidade pois o tempo de trabalho na escola de cada professor é inferior a 02 anos, logo o peso  $PP$  é igual a 01.

Assim tem-se a seguinte função objetivo:

$$Max \quad Z = \sum_p \sum_t \sum_d \sum_h PP.PH.PD.x_{ptdh}, \text{ onde:}$$

$p$  – indica o professor

(*Anderson, ..., Vera*);

$t$  – indica as turmas atendidas pelo professor  $p$

(*5ª A, ..., 8ª A*);

$d$  – indica o dia da semana

(*segunda-feira, ..., sexta-feira*);

$h$  – indica os horário de aula em um dia da semana

(*1, ..., 5*);

*PP* – peso referente ao tempo de trabalho do professor na escola;

*PH* – peso referente aos horários;

*PD* – peso referente a preferência de dias de trabalho.

No caso real tem-se 18 professores, 10 turmas, 5 dias da semana e 5 horários no dia.

Definida a função objetivo deve-se elaborar a modelagem das restrições.

### 7.3 DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES

Cada restrição do problema é comentada e apresentada a modelagem matemática.

Estas restrições são:

- Em cada turma deve atuar apenas um professor por horário - em consequência garantir o total de aulas diárias e semanais;
- Cada professor deve ministrar aula em apenas uma turma por horário de trabalho;
- Garantir a carga horária da disciplina em cada turma – em consequência garantir a carga horária semanal do professor;
- Toda disciplina não deve ter mais que duas aulas ministradas no mesmo dia em uma mesma turma;



- Definir os dias de trabalho – em consequência definir (garantir) o dia de não vínculo do professor; e
- Preferência ou não por aulas geminadas.

*RESTRIÇÕES 01: EM CADA TURMA DEVE ATUAR APENAS UM PROFESSOR POR HORÁRIO - EM CONSEQUÊNCIA GARANTIR O TOTAL DE AULAS DIÁRIAS E SEMANAIS*

Esta restrição garante que em cada turma atue um único professor por horário e também que cada turma tenha aula em todos os horários da semana.

*Para cada turma  $t$*

*Para cada dia  $d$*

*Para cada horário  $h$*

$$\sum_p x_{ptdh} = 1$$

O total de restrições geradas na escola em questão são: 10 turmas x 5 dias x 5 horários, ou seja, *250 restrições*.

*RESTRIÇÕES 02: GARANTIR QUE O PROFESSOR ATUE EM APENAS UMA TURMA EM CADA HORÁRIO DE TRABALHO*

Esta restrição garante que cada professor atue em uma única turma por horário de trabalho. Assim tem-se:

*Para cada professor  $p$*

*Para cada dia  $d$*

*Para cada horário  $h$*

$$\sum_t x_{ptdh} \leq 1$$

Nestas restrições tem-se inequações. Isto deve-se ao fato do professor atender ou não alguma turma  $t$ , no dia  $d$ , no horário  $h$ .

O total de restrições geradas no problema real é igual a 18 professores x 5 dias x 5 horários, ou seja, *450 restrições*.

### *RESTRIÇÕES 03: CARGA HORÁRIA SEMANAL DA DISCIPLINA*

Estas restrições garantem que a carga horária semanal de cada disciplina, em cada turma, seja contemplada. Logo tem-se:

*Para cada professor  $p$*

*Para cada turma  $t$*

$$\sum_d \sum_h x_{ptdh} = \text{total de aulas do professor } p \text{ na turma } t$$

Esta exigência gera, no problema real, 10 turmas x 8 disciplinas, ou seja, *80 restrições*.

*RESTRIÇÕES 04: GARANTIR QUE TODA DISCIPLINA TENHA NO MÁXIMO DUAS AULAS EM UM MESMO DIA EM TODAS AS TURMAS*

Para facilitar o trabalho pedagógico é aconselhável que o professor não tenha mais que duas aulas por dia na mesma turma. Assim tem-se:

*Para cada professor  $p$*

*Para cada turma  $t$*

*Para cada dia  $d$*

$$\sum_h x_{ptdh} \leq 2$$

Esta restrição pedagógica gera para o problema real um total de *400 restrições* – 10 turmas x 8 disciplinas x 5 dias.

As quatro restrições comentadas até o momento são fundamentais para o efetivação do horário escolar.

Caso não fosse considerada a preferência dos professores, apenas com as restrições descritas até o presente momento poderia ser obtido o horário.

Mas as preferências dos professores são de extrema importância, pois lhes dará a satisfação em trabalhar.

*RESTRIÇÕES 05: DEFINIR OS DIAS DE TRABALHO*

Em entrevista realizada com os professores da Escola Municipal Planalto dos Pinheiros, as mais importantes restrições para estes são: as que

garantem ter o dia de não vínculo e as que satisfazem a exigência da SMED em não ter aula na hora atividade.

Assim, as restrições abaixo garantem que as aulas sejam designadas apenas no número suficiente de dias de trabalho, garantindo o dia de não-vínculo.

*Para cada professor  $p$  com carga horária diferente de 16 h/a*

$$\sum_d s_{pd} = DT + s_{pd_2}$$

*Para cada professor  $p$  com carga horária igual 16 h/a*

$$\sum_d s_{pd} = DT,$$

onde já está definida uma aula na hora atividade.

A quantidade de dias de trabalho na semana (DT) é definida da seguinte forma:

- *1 dia* – se o professor possui carga horária menor ou igual a 5h/a semanais e a carga horária de cada turma que atende não seja superior a 2h/a semanais;
- *2 dias* – se o professor possui carga horária maior que 5h/a semanais e menor ou igual a 10 h/a semanais e a carga horária da disciplina em cada turma, que atende, não é superior a 4h/a semanais;
- *3 dias* – se o professor possui carga horária maior que 10 h/a e menor ou igual a 15 h/a semanais;

- 4 dias:
  - se a carga horária semanal for igual a 16, o professor terá uma aula na hora-atividade e são definidos mais três dias;
  - se a carga horária semanal for superior a 16 h/a e no máximo 20 h/a, o professor não possui dia de não vínculo.

O número de restrições para o problema real é 18, pois há 18 professores.

*RESTRIÇÕES 06: GARANTIR QUE AS AULAS SEJAM DISTRIBUIDAS APENAS NOS DIAS DE TRABALHO*

Juntamente com as *restrições 05* trabalha-se as restrições que garantem que o total de aulas seja distribuído apenas nos dias de trabalho. Estas novas restrições estão expressas por:

*Para cada professor  $p$*

*Para cada dia  $d \neq$  dia da hora atividade*

$$\sum_t \sum_h x_{ptdh} \leq 5 \times s_{pd}$$

*Para cada dia  $d_2 =$  dia da hora atividade*

$$\sum_h x_{ptdh} = s_{pd_2}$$

Logo para cada professor  $p$  com carga horária igual a 16 h/a, conforme a definição dos dias de trabalho, tem-se que  $s_{pd_2} = 1$



QUADRO 02 – HORÁRIOS RECUSADOS PARA OS PROFESSORES QUE  
PREFEREM AULAS NÃO GEMINADAS

1º horário	2º horário	3º horário	4º horário	5º horário

Exemplificando o quadro 01: a primeira linha ilustra que o professor que prefere aulas geminadas não deve ministrar aula no primeiro e terceiro horário, caso este tenha duas aulas no mesmo dia em uma turma.

No quadro 02, por exemplo, a primeira linha ilustra que o professor que prefere aulas não geminadas não deve ter aulas no primeiro e segundo horário, caso este tenha duas aulas no mesmo dia em uma turma.

Assim estas restrições, *preferência por aulas geminadas e de preferência por aulas não geminadas*, foram traduzidas para a linguagem matemática da seguinte forma:

### ***Preferência por aulas geminadas***

*Para cada professor p que prefere aulas geminadas*

*Para cada turma t*

*Para cada dia d*

$$x_{ptd1} + x_{ptd3} \leq 1$$

$$x_{ptd1} + x_{ptd4} \leq 1$$

$$x_{ptd1} + x_{ptd5} \leq 1$$

$$x_{ptd2} + x_{ptd4} \leq 1$$

$$x_{ptd2} + x_{ptd5} \leq 1$$

$$x_{ptd3} + x_{ptd5} \leq 1$$

### ***Preferência por aulas não geminadas***

*Para cada professor p que prefere aulas não geminadas*

*Para cada turma t*

*Para cada dia d*

$$x_{ptd1} + x_{ptd2} \leq 1$$

$$x_{ptd2} + x_{ptd3} \leq 1$$

$$x_{ptd4} + x_{ptd5} \leq 1$$

Não é considerado que o terceiro e quarto horário gerem aulas geminadas para professores que preferem aulas não geminadas, pois há uma interrupção devido ao intervalo para lanche.

O número de restrições geradas para o problema real referente a professores que preferem aulas geminadas é de *660 restrições*,  $(3+3+4+7+5) \times 5 \text{ dias} \times 6 \text{ restrições}$ . Esta soma refere-se a quantidade de turmas que cada professor que prefere aulas geminadas possui: Carlos – 3 turmas; Lúcia – 3 turmas; Marie – 4 turmas; Jucimara – 7 turmas; e Rosália - 5 turmas.

O número de restrições, referentes aos professores que preferem aulas não geminadas, geradas no problema real é de *870 restrições*. Este número é calculado da seguinte forma  $[(10 \text{ turmas} \times 8 \text{ disciplinas}) - 22] \times 5 \text{ dias} \times 6 \text{ restrições}$ .

O número 22 que aparece na fórmula refere-se as turmas dos professores que preferem aulas geminadas.

Desta forma, conclui-se a modelagem matemática do problema, que no caso real possui *2818 restrições* e *2090 variáveis*.

A interface criada gera todas as restrições, e o LINGO 6.0 resolve o problema.



Após obter a solução através do LINGO 6.0 a interface cria o arquivo solução para apresentar em tela os resultados obtidos ou gera relatórios para impressão ou visualização na tela. Estes resultados são apresentados no capítulo 10, onde é realizada a comparação dos resultados obtidos pelos métodos que o trabalho aborda.

## **8 A ABORDAGEM DO PROBLEMA REAL ATRAVÉS DE ALGORITMO BASEADO EM ALGORITMO GENÉTICO**

Segundo GOLDBERG (1989) o Algoritmo Genético (AG) é um algoritmo de busca baseado nos mecanismos de seleção natural e genética natural.

O AG é um algoritmo que procura novos indivíduos (soluções) onde estes são gerados através de uma combinação realizada por uma função de avaliação com uma estrutura de informações alteradas aleatoriamente.

Assim o AG é uma Meta-heurística apoiada por várias heurísticas de melhoramento que procuram os melhores indivíduos, como os seres humanos, que representem melhor a condição imposta ao algoritmo.

Estas condições são as restrições, que neste trabalho são as mesmas utilizadas no capítulo anterior, traduzida, logicamente, para forma de algoritmos de melhoramento e penalidades.

A principal característica do AG é que trabalha com uma população e não um ponto isolado na busca de um melhor indivíduo.

Este trabalho utiliza um algoritmo baseado na teoria do AG, onde a população é composta de indivíduos que representam a grade horária das turmas. Estes indivíduos evoluem paralelamente e a alteração de qualquer indivíduo torna-os mais, ou menos, adaptáveis a população.

### **8.1 TERMINOLOGIA BIOLÓGICA $\Leftrightarrow$ CONSTRUÇÃO DA GRADE HORÁRIA DE PROFESSORES**

Como o Algoritmo Genético é baseado na teoria da evolução das espécies os termos utilizados referem-se a terminologia biológica, tais como:

*Cromossomo*: na biologia é o conjunto de genes que representam um indivíduo. Neste trabalho o cromossomo representa a grade horária semanal de uma turma;

*Gene*: um cromossomo é composto de genes. Neste trabalho os genes são os 25 horários semanais de cada turma;

*Indivíduo*: em muitos trabalhos os indivíduos e cromossomos são os mesmos, já em outros o indivíduo é representado pelo cromossomos mais o grau de adaptação denominado *fitness*. Neste trabalho cromossomo e indivíduo são considerados os mesmos;

*Fitness*: talvez seja o mais importante dos elementos que compõem o espaço de busca, pois é ele que indica o quão adaptável se encontra o indivíduo para prosseguir ou não com ele para a busca da solução;

*Genótipo*: na biologia representa a composição genética contida no cromossomo. Neste trabalho representa todos os *professores que podem* assumir a turma  $t$ , no dia  $d$ , no horário  $h$ ;

*Fenótipo*: na biologia representa as característica visíveis, como cor dos cabelos, cor da pele. Neste trabalho representa como é a “cara” da grade horária semanal da turma, ou seja, quais os horários e dias que cada professor está assumindo a turma.

*Alelo*: representa a informação contida em cada gene, na biologia representa, por exemplo, a cor dos cabelos, assim, o alelo por ser preto, castanho, loiro, entre outros. Neste trabalho o alelo é o professor que está atendendo a turma;

*População*: é o conjunto formado por todos os indivíduos;

## 8.2 REPRESENTAÇÃO DE UM INDIVÍDUO

O primeiro passo ao se trabalhar com AG ou algoritmo baseado em AG é a definição do(s) indivíduos(s), pois é(são) ele(s) que representa(m) a solução procurada.

Assim, define-se o indivíduo como a grade horária semanal (figura 15) de uma turma.

Como no problema real existem 10 turmas, tem-se 10 indivíduos na população.

Nestes indivíduos são aplicados somente o operador genético inversão para melhorá-los e torná-los mais adaptáveis a população no processo de otimização pelo algoritmo genético proposto.

FIGURA 15 – REPRESENTAÇÃO DO INDIVÍDUO

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
1º horário	Prof 01	Prof 04	Prof 04	Prof 07	Prof 01
2º horário	Prof 05	Prof 01	Prof 02	Prof 03	Prof 03
3º horário	Prof 02	Prof 02	Prof 03	Prof 01	Prof 06
4º horário	Prof 02	Prof 08	Prof 06	Prof 08	Prof 05
5º horário	Prof 04	Prof 01	Prof 07	Prof 06	Prof 02

## 8.3 OPERADOR GENÉTICO

Os operadores genéticos mais freqüentemente utilizados são inversão, mutação e crossover. São os responsáveis por todas as transformações sofridas pela população, mas possuem funções bastante distintas.

O operador genético *inversão* é a modificação da informação genética de um gene, sendo o fator fundamental para garantir a biodiversidade, assegurando que o espaço de busca seja explorado a partir de uma parte de sua extensão.

Várias mutações desenvolvem o mesmo papel que uma inversão. Assim, muitos autores consideram a inversão e a mutação como o mesmo operador genético.

Geralmente é aplicado com uma taxa de probabilidade reduzida da aplicação da inversão ou mutação, mas muitos autores os consideram os fatores mais importantes e trabalham somente com estes operadores genéticos. O mesmo ocorre neste trabalho, onde foi abordado somente a inversão como operador genético para a busca de indivíduo(s) mais adaptáveis a população.

Este operador tem o papel fundamental de evitar uma convergência prematura da solução, que ocorre quando a população se estabiliza com uma adaptação pouco adequada. Esta convergência prematura pode ser verificada quando um super-indivíduo domina o processo seletivo e sendo incapaz de gerar filhos melhores, transmite suas características por toda a população.

No caso da inversão (Figura 16) a professora Rosália está designada para a terça-feira no quinto horário e a professora Vera está designada para a sexta-feira no quinto horário. Através deste operador os horários são trocados. Desta forma a professora Rosália é designada para o quinto horário na sexta-feira e a professora Vera é designada para a terça-feira no quinto horário.

FIGURA 16 – OPERADOR INVERSÃO APLICADO A GRADE HORÁRIA

Valmir	Jucima.	Rosália	Noeli	Marisel.	⇒	Valmir	Jucima.	Rosália	Noeli	Marisel.
Marisel.	Jucima.	Marta	Marie	Valmir		Marisel.	Jucima.	Marta	Marie	Valmir
Valmir	Marie	Marie	Marisel.	Marie		Valmir	Marie	Marie	Marisel.	Marie
Vera	Rosália	Marie	Noeli	Vera		Vera	Rosália	Marie	Noeli	Vera
Marta	<b>Rosália</b>	Marta	Valmir	<b>Vera</b>		Marta	<b>Vera</b>	Marta	Valmir	<b>Rosália</b>

## 8.4 POPULAÇÃO INICIAL

A partir de uma população inicial viável para o problema, inicia-se o algoritmo aplicando o operador genético de inversão citado na seção anterior.

Para gerar a população inicial geralmente utiliza-se uma heurística com o auxílio de um método aleatório.

Neste trabalho a população inicial é gerada tomando a melhor população dentre 5 geradas conforme a heurística exposta na próxima seção.

É considerada solução viável quando para todo horário, em todos os dias, em todas as turmas, há somente um professor ministrando aula. As demais restrições a qual o problema está sujeito é transformada em restrições de penalidade.

Para comparar (avaliar) a população é realizado o cálculo do fitness que é explicado nas próximas seções.

### *8.4.1 HEURÍSTICA PARA GERAÇÃO DE POPULAÇÃO INICIAL*

Neste trabalho é utilizada a seguinte heurística para geração da população inicial.

- 1) Sorteia-se aleatoriamente um professor da lista de professores;
- 2) Seguindo a ordem das turmas cadastradas, verifica-se se o professor atende a turma. Se atender, designa-se o máximo de aulas no dia, conforme a ordem de preferência de dia de trabalho e a preferência de aulas geminadas nos horários que ainda estão livres;

- 3) Faça processo 2 com todas as turmas do professor evitando choque de horários;
- 4) Após a designação realizada nos processos 2 e 3 se o professor ainda tem que atender alguma turma, mas não tem mais horários livres coincidentes com os horários livres das turmas, faça a designação em um horário em que a turma esteja livre mesmo gerando um choque de horário para o professor, ou seja, o professor atenderá duas turmas ao mesmo tempo;
- 5) Retire o professor da lista;
- 6) Faça o processo 1 a 5 até o último professor.

Esta heurística gera indivíduos viáveis, pois a turma possui aula em todos os horários da semana. Mas o indivíduo não está totalmente adaptável à população pois alguns professores têm choque de horários e estão trabalhando em algum dia que não preferem, trabalham mais dias que o necessário ou estão com mais aulas que o número máximo permitido por dia em uma turma.

## 8.5 CÁLCULO DO *FITNESS*

Após gerada a população inicial ou uma nova população, é necessário avaliá-la. Assim é realizado o cálculo do fitness, ou seja, verifica-se o quanto um indivíduo está adaptável ao ambiente.

Este trabalho utiliza as seguintes restrições para o cálculo de fitness por indivíduo (turma):

- Preferência de dias de trabalho do professor;
- Quantidade de dias de trabalho do professor;

- Se há apenas uma turma por professor em qualquer horário;
- Preferência ou não por aulas geminadas.

A primeira restrição define o fitness inicial da população e as demais são restrições de penalidades.

A seguir é comentado o cálculo realizado segundo cada restrição.

#### *CÁLCULO DO FITNESS – PREFERÊNCIA DE DIAS DE TRABALHO DO PROFESSOR*

O início do cálculo do fitness é constituído pela restrição de Preferência de Dias de Trabalho do Professor.

*Para cada turma*

*Para cada professor*

*Se o professor trabalha 2 dias:*

*Cada aula no dia da primeira opção de não vínculo tem peso 01;*

*Na segunda opção tem peso 01;*

*Na terceira opção, peso 08;*

*Na quarta opção, peso 08; e*

*No dia de hora-atividade peso 04.*

*Se o professor trabalha 3 dias:*

*Cada aula no dia da primeira opção de não vínculo tem peso 01;*

*Na segunda opção tem peso 08;*



*Na terceira opção, peso 08;*

*Na quarta opção, peso 08; e*

*No dia de hora-atividade peso 04.*

*Se o professor trabalha 4 dias:*

*Cada aula no dia da primeira opção de não vínculo tem peso 08;*

*Na segunda opção tem peso 08;*

*Na terceira opção, peso 08;*

*Na quarta opção, peso 08; e*

*No dia de hora-atividade peso 04.*

O fitness da turma é o somatório dos pesos de cada horário definido na heurística acima aplicando a seguinte fórmula baseada em BRUNA, COSTA e POZO (2004):

$$Fitness01 = \frac{Somatório \times 100}{25 * 8}$$

O valor 25 refere-se ao total de horários semanais da turma e 8 é o peso máximo pela preferência do professor.

#### *CÁLCULO DO FITNESS – QUANTIDADE DE DIAS DE TRABALHO DO PROFESSOR*

Após calculado o fitness de Preferência de Dias de Trabalho do Professor, é calculado o fitness referente ao total de dias de trabalho do professor.

*Para cada professor*

*Verifica o total de dias que está trabalhando. Se estiver trabalhando mais dias que o necessário é aplicado uma penalidade.*

O total de dias de trabalho é o mesmo definido na seção 7.3.

A penalidade aplicada a cada turma é calculada da seguinte forma:

$$Fitness02 = Fitness01 \times \left( 1 - \frac{total\ dias\ de\ trabalho - total\ dias\ necessário}{5} \right)$$

O valor 5 na fórmula refere-se ao total de dias na semana que as turmas possuem aulas.

#### *CÁLCULO DO FITNESS – APENAS UMA TURMA POR PROFESSOR EM QUALQUER HORÁRIO*

O cálculo referente a esta restrição é realizado da seguinte forma:

*Para cada professor*

*Verifica-se se há algum horário em que o professor está designado para mais de uma turma. Cada ocorrência é considerada um erro em cada turma.*

Esta penalidade em cada turma é calculada com a seguinte fórmula:

$$Fitness03 = Fitness02 \times \left( 1 - \frac{Erros}{25} \right)$$

O valor 25 refere-se ao total de horários semanais da turma.

### *CÁLCULO DO FITNESS – PREFERÊNCIA OU NÃO POR AULAS GEMINADAS*

O cálculo de preferência ou não por aulas geminadas é realizado da seguinte forma:

*Para cada professor*

*Para cada dia em que possui mais de uma aula na mesma turma.*

*Verifica a preferência do professor. Cada ocorrência contrária a sua preferência é considerada um erro.*

Esta penalidade em cada turma é calculada com a seguinte fórmula:

$$Fitness04 = Fitness03 \times \left( 1 - \frac{Erros}{25} \right)$$

O valor obtido no *Fitness04* mostra o quão adaptável está o indivíduo a população.

### 8.6 APLICAÇÃO DO OPERADOR GENÉTICO

Como comentado na seção 8.3 o operador genético aplicado neste trabalho é apenas a inversão.

Várias inversões são desenvolvidas com o propósito de trabalhar as seguintes restrições:

- Número de aulas, por professor, não pode ser maior que o permitido por dia em uma turma;

- Professor não pode ter mais dias de trabalho que o necessário;
- Professor não pode atender mais que uma turma em qualquer horário;
- Professor não pode ter aula no dia de hora atividade;
- Professor com horário vago;

Para cada uma destas restrições são desenvolvidas heurísticas de melhoramento.

Para comandar todas estas heurística criou-se uma heurística, que verifica quais os erros existentes, chamada Verificação.

#### *8.6.1 HEURÍSTICA – VERIFICAÇÃO*

Esta heurística comanda qual erro será trabalhado afim de melhorar a população e faz a verificação do critério de parada para a solução do problema.

Seus passos são os seguintes:

- 1) Lista os professores que possuem choque de horário;
- 2) Lista os professores que possuem mais aulas que o permitido por dia em uma turma;
- 3) Lista os professores que possuem aulas na hora atividade;
- 4) Lista os professores com mais dias de trabalho que o necessário;
- 5) Se não houver nenhum professor na lista, PARE. Caso contrário siga para o próximo passo;
- 6) Escolhe um professor. Esta escolha é realizada da seguinte maneira: o professor que possui menos erros ou, segundo uma probabilidade, escolhe-se um outro professor que esteja na lista;

- 7) Lista todos os erros do professor escolhido no item 6. Se o total de erros for igual a 2, verifica se esses erros ocorrem devido o professor estar na hora-atividade e por isso está trabalhando mais dias que o necessário, se for afirmativo sorteia-se uma probabilidade para continuar ou voltar ao item 5 e retira da lista geral de erros esse professor. Caso seja diferente de 2 erros segue-se ao próximo passo.
- 8) Sorteia um erro do professor escolhido, verifica qual é o tipo de erro e segue para a heurística de melhoramento específica da população referentes aos item 1 a 4;
- 9) Repetir os passos de 1 a 8 até que o critério de parada seja satisfeito.

As heurísticas de melhoramento estão descritas nas próximas seções.

#### *8.6.2 HEURÍSTICA DE MELHORAMENTO – NÚMERO DE AULAS, POR PROFESSOR, MAIOR QUE O PERMITIDO POR DIA EM UMA MESMA TURMA*

Esta heurística desloca uma aula do professor para outro dia, desta forma diminui o número de aulas no dia com excesso de aula.

A heurística funciona da seguinte forma:

- 1) O professor é o selecionado pela Heurística Verificação;
- 2) Verifica o dia e a turma que o professor está com mais aulas que o permitido e guarda dois horários de aulas;
- 3) Sorteia um dos horários do passo 2;
- 4) Escolhe um horário nos dias que está com aula, independente de estar livre ou não;
- 5) Faz a troca desses horários (inversão).

Na figura a seguir o professor Anderson possui três aulas na quarta-feira, através desta heurística o primeiro horário do professor é trocado pelo terceiro horário na quinta-feira onde a professora Noeli está designada. Desta forma, o horário da professora Noeli é alterado e passa a ser designada para o horário antes ocupado pelo professor Anderson.

FIGURA 17 – NÚMERO DE AULAS, MAIOR QUE O PERMITIDO POR TURMA POR DIA

Gisele	Gisele	Anders.	Marie	Marie		Gisele	Gisele	Noeli	Marie	Marie
Clarice	Regina	Marie	Rafael	Regina		Clarice	Regina	Marie	Rafael	Regina
Anders.	Jucima.	Anders.	Noeli	Clarice	⇒	Anders.	Jucima.	Anders.	Anders.	Clarice
Rafael	Marie	Gisele	Rafael	Jucima.		Rafael	Marie	Gisele	Rafael	Jucima.
Anders.	Regina	Anders.	Marie	Noeli		Anders.	Regina	Anders.	Marie	Noeli

Esta heurística pode ocasionar até dois choques, pois ao escolher o novo horário, se o professor está designado para outra turma, esta troca será realizada em duas turmas e três professores.

### 8.6.3 HEURÍSTICA DE MELHORAMENTO – PROFESSOR COM MAIS DIAS DE TRABALHO QUE O NECESSÁRIO

Esta heurística retira uma aula do dia que o professor está com menos aulas em sala de aula e faz a designação para outro dia que está trabalhando. Desta forma a heurística trabalha assim:

- 1) O professor é o selecionado pela Heurística Verificação;
- 2) Verifica os dias que o professor está em aula;
- 3) Verifica o dia que o professor está com menos aulas designadas e sorteia um horário que possui aula neste dia;
- 4) Sorteia um horário, nos dias que está ministrando aula, e que ainda não foi designado;
- 5) Faz a troca com este horário (inversão).

Na figura a seguir o professor Carlos possui aula em quatro dias e no terceiro horário da quinta-feira ele não está designado. Desta forma a heurística realoca para o horário não designado, e os dias de trabalho passam a ser três (o necessário).

FIGURA 18 – PROFESSOR COM MAIS DIAS DE TRABALHO QUE O NECESSÁRIO

Prof. Carlos									
		T5B	T5C	T5C			T5C	T5C	T5C
		T5C	T5B	T5C			T5C	T5B	T5B
		T5D		T5D	⇒		T5D	<b>T5D</b>	T5D
		T5B	T5D	T5D			T5B	T5D	T5D
<b>T5D</b>		T5B	T5C	T5C			T5B	T5C	T5C

Assim, como a heurística trabalha sempre com o dia que possui menos aulas, o total de dias na solução final é somente o necessário.

#### 8.6.4 HEURÍSTICA DE MELHORAMENTO – PROFESSOR ATENDENDO MAIS QUE UMA TURMA EM QUALQUER HORÁRIO

Esta heurística visa desfazer o erro “choque de horário” do professor escolhido, para isto trabalha da seguinte forma:

- 1) O professor é o selecionado pela Heurística Verificação;
- 2) Verifica o horário em que o professor está com choque e quais são as turmas;
- 3) Sorteia uma das turmas;
- 4) Verifica um horário que o professor está livre nos dias que possui aula;
- 5) Faz a troca (inversão).

FIGURA 19 – PROFESSOR ATENDENDO MAIS DE UMA TURMA EM UM HORÁRIO

Turma 5ª A					Turma 8ª A				
Vera	Marta	Marta	Marisel.	Valmir	Marta	Marie	Marie	Marisel.	Vera
Valmir	Rafael	Rossa.	Valmir	Vera	Anders.	Vera	Anders.	Noeli	Marie
Rafael	Marta	Carlos	Carlos	Carlos	Marta	Rafael	Noeli	Rafael	Vera
Valmir	Rafael	Noeli	Carlos	Carlos	Anders.	Jucima.	Marta	Anders.	Marisel.
Marisel.	Vera	Rossa.	Noeli	Marisel.	Rafael	Jucima.	Marie	Anders.	Marie

⇓

Turma 5ª A					Turma 8ª A				
Vera	Marta	Marta	Marisel.	Valmir	Marta	Marie	Marie	Anders.	Vera
Valmir	Rafael	Rossa.	Valmir	Vera	Anders.	Vera	Anders.	Noeli	Marie
Rafael	Marta	Carlos	Carlos	Carlos	Marta	Rafael	Noeli	Rafael	Vera
Valmir	Rafael	Noeli	Carlos	Carlos	Anders.	Jucima.	Marta	Anders.	Marisel.
Marisel.	Vera	Rossa.	Noeli	Marisel.	Rafael	Jucima.	Marie	Marisel.	Marie

Pode-se analisar na figura acima que a professora Mariselma atende duas turmas (5ª A e 8ª A) no mesmo horário (primeiro horário da quinta-feira). A heurística escolhe uma das turmas, neste caso da 8ª A, e designa este horário para outro. Assim o professor Anderson assume o primeiro horário na quinta-feira e a professora Mariselma assume o quinto horário neste mesmo dia.

#### 8.6.5 HEURÍSTICA DE MELHORAMENTO – PROFESSOR COM AULA NO DIA DE HORA ATIVIDADE

Esta heurística retira a aula do professor que está designada em seu dia de hora-atividade e faz a designação para outro dia que possui aula.

Existe uma exceção para o professor que possui 16 h/a semanais, pois este deve ter apenas uma aula designada na hora atividade. Desta forma esta aula não é contada como erro e não aparece na lista geral gerada pela heurística da seção 8.6.1.



A heurística realiza o seguinte processo:

- 1) O professor é o selecionado pela Heurística Verificação;
- 2) Verifica qual é o horário e turma do dia de hora-atividade que o professor está com aula;
- 3) Sorteia um horário, em um dia que o professor possui aula, e que ainda não está designado;
- 4) Faz a troca (inversão).

Como está ilustrado a seguir, a professora Regina está designada no primeiro horário em seu dia de hora-atividade. Por outro lado, esta professora não possui aula no quarto horário da segunda-feira, assim a heurística realiza a inversão, designando a professora Regina para o horário que ainda não está alocada, em consequência não tem mais designação em seu dia de hora-atividade.

FIGURA 20 – PROFESSOR COM AULA NO DIA DE HORA-ATIVIDADE

Prof. Regina									
T6A	T6B	T6A		T6A	⇒	T6A	T6B		T6A
T6C	T7A			T7A		T6C	T7A		T7A
T7B	T6C			T6B		T7B	T6C		T6B
	T7B			T6B		T6A	T7B		T6B
T7B	T7A			T6C		T7B	T7A		T6C

#### 8.6.6 ERROS OCASIONADOS PELAS HEURÍSTICAS DE MELHORAMENTO

Ao ser realizada as inversões (trocas) através das heurísticas de melhoramento descritas até o presente momento, alguns erros podem ocorrer:

- *choque de horários* – as heurísticas garantem que para o professor selecionado não ocasiona erro de choque, mas não garante em relação aos outros professores envolvidos no processo;
- *mais dias de trabalho que o necessário* - quando houver a troca, as heurísticas não aumentam a quantidade de dias de trabalho do professor selecionado mas não garantem esta restrição com relação aos outros professores envolvidos na troca;
- *professor com aula no dia de hora-atividade* – as heurísticas garantem ao professor selecionado que este não seja designado para o dia de hora atividade, mas nada garante para os demais professores, pois altera seus horários em consequência da troca realizada com o selecionado;
- *professor com mais aulas que permitido em um dia, por turma* – as heurísticas, com exceção da que soluciona este erro, não garantem nem que o professor que foi selecionado tenha menos aulas que o permitido;
- *preferência ou não por aulas geminadas* – nenhuma heurística garante que a preferência ou não por aulas geminadas seja satisfeita. Isto deve-se ao fato desta restrição ser flexível, ou seja, nenhum resultado será recusado caso um professor que não prefere ter aula geminada, tenha aulas geminadas, ou o contrário. Mas vale lembrar que esta restrição faz parte do fitness, logo o influenciará.

Desta forma o que garante que os erros acima não ocorram ou que ocorram em pequenas quantidades é o algoritmo baseado em AG. Pois este, através dos cálculos de fitness de cada indivíduo, verifica se aceita ou não esta nova solução (população) (ver seção 8.7).

Caso ocorra muitos erros o indivíduo tem seu fitness penalizado e provavelmente não é aceito.

É utilizado o termo provavelmente pois, segundo uma probabilidade, indivíduos com fitness pior que o anterior podem ser aceitos.

#### *8.6.7 HEURÍSTICA DE MELHORAMENTO – PROFESSOR COM HORÁRIO VAGO*

Esta heurística é utilizada para proporcionar maior flexibilidade para a elaboração da grade horária.

A cada troca efetuada com as heurísticas descritas nas seções 8.6.2 a 8.6.5, é realizado, segundo uma probabilidade, uma troca de horário vago.

Essa inversão consiste em:

- 1) Lista todos os professores que possuem horários vagos na solução atual;
- 2) Sorteia-se um professor e o dia que tem o(s) horário(s) vago(s);
- 3) Escolhe um horário livre e um horário que o professor está designado;
- 4) Faz a troca.

Nesta heurística, após a realização da troca, poderá ocorrer somente o erro *choque de horário* em relação aos outros professores envolvidos ou a preferência por aulas geminadas ser afetada. Os outros erros não ocorrem pois a troca é efetuada no mesmo dia.

A professora Jucimara (figura 21) possui horário vago no primeiro horário da quarta-feira. Assim, a heurística designa o quarto horário para esta horário vago e a professora assume a 6ª B no primeiro horário

FIGURA 21 – PROFESSOR COM HORÁRIO VAGO

Prof. Jucimara

	T5A			T7B			T5A	T6B		T7B
	T5A	T6A		T6A	⇒		T5A	T6A		T6A
	T7A	T6C		T6C			T7A	T6C		T6C
	T8A	T6B		T7A			T8A			T7A
	T8A	T7B		T6B			T8A	T7B		T6B

#### 8.6.8 HEURÍSTICA DE REFINAMENTO – PREFERÊNCIA OU NÃO POR AULAS GEMINADAS

Após encontrada a solução para o problema, uma nova heurística é aplicada comandada pelo AG.

A heurística consiste em maximizar a preferência dos professores em relação as aulas geminadas. Este método é aplicado ao realizar o horário manualmente:

- 1) Para cada dia da semana verifique se há professor na hora atividade. Caso seja afirmativo e esta aula não for a primeira, troque todos as aulas deste horário com as aulas do primeiro horário e volte ao item 01;
- 2) Para cada dia da semana, é sorteado dois horários diferentes (caso o item 1 tenha ocorrido esses horários não poderão ser o primeiro). Troque todas as aulas do primeiro horário sorteado com o segundo horário sorteado;
- 3) Calcule o fitness e verifique se aceita a nova população conforme a seleção descrita no item 8.7;
- 4) Repita de 1 a 3 para um certo número definido de iterações.

Na figura 19 vemos que a preferência ou não por aulas geminadas de muitos professores não é atendida. Assim ao trocar as aulas do 2º horário com as aulas do 5º horário de todas as turmas da escola tem-se que a preferência de todos os professores é atendida.

Neste exemplo, dos professores que não possuem sua preferência atendida, somente a professora Rosália prefere aulas geminadas.

Vale lembrar que o terceiro e quarto horário não geram aulas geminadas para os professores que preferem aulas não geminadas, pois há a interrupção pelo intervalo.

FIGURA 22 – PREFERÊNCIA OU NÃO POR AULAS GEMINADAS

<b>SEGUNDA-FEIRA</b>										
<b>Horário</b>	<b>5ª A</b>	<b>5ª B</b>	<b>5ª C</b>	<b>5ª D</b>	<b>6ª A</b>	<b>6ª B</b>	<b>6ª C</b>	<b>7ª A</b>	<b>7ª B</b>	<b>8ª A</b>
1º	Rosália	Marisel.	Marta	Valmir	Edilson	Regina	Clarice	Anders.	Gisele	Vera
2º	Valmir	Rosália	Vera	Marisel.	Regina	Edilson	Gisele	Anders.	Clarice	Marta
3º	Valmir	Marisel.	Marta	Vera	Rosália	Edilson	Regina	Clarice	Gisele	Anders.
4º	Marisel.	Marta	Valmir	Vera	Edilson	Rosália	Clarice	Gisele	Regina	Anders.
5º	Rosália	Vera	Valmir	Marisel.	Regina	Clarice	Edilson	Gisele	Anders.	Marta



<b>SEGUNDA-FEIRA</b>										
<b>Horário</b>	<b>5ª A</b>	<b>5ª B</b>	<b>5ª C</b>	<b>5ª D</b>	<b>6ª A</b>	<b>6ª B</b>	<b>6ª C</b>	<b>7ª A</b>	<b>7ª B</b>	<b>8ª A</b>
1º	Rosália	Marisel.	Marta	Valmir	Edilson	Regina	Clarice	Anders.	Gisele	Vera
2º	Rosália	Vera	Valmir	Marisel.	Regina	Clarice	Edilson	Gisele	Anders.	Marta
3º	Valmir	Marisel.	Marta	Vera	Rosália	Edilson	Regina	Clarice	Gisele	Anders.
4º	Marisel.	Marta	Valmir	Vera	Edilson	Rosália	Clarice	Gisele	Regina	Anders.
5º	Valmir	Rosália	Vera	Marisel.	Regina	Edilson	Gisele	Anders.	Clarice	Marta

## 8.7 SELEÇÃO DO INDIVÍDUO

Existem alguns métodos de seleção do indivíduo para a próxima geração, dentre os que se destacam temos *Roulett Wheel*, Seleção Salvacionista e Seleção Baseada em *Rank*, comentados na seção 4.3.3.2.

CONCÍLIO (2000) apresenta outros métodos de seleção, sendo eles: seleção por diversidade, seleção bi-classista e seleção aleatória.

- *Seleção por diversidade* - escolhe os indivíduos mais diversos da população;
- *Seleção bi-classista* - escolhe uma certa percentagem de melhores indivíduos e para o complemento desta percentagem são escolhidos entre os piores;
- *Seleção aleatória* - escolhe aleatoriamente todos os indivíduos da população atual;

Neste trabalho optou-se por trabalhar com uma variante da seleção bi-classista.

O critério de seleção dos indivíduos para a próxima geração é o seguinte:

- 1) Após gerada uma solução é calculado seu *fitness*;
- 2) Se 70% dos indivíduos possuem melhor *fitness* que a população anterior, aceite toda a população e continue o algoritmo gerando uma nova população. Caso contrário vá ao passo 3;
- 3) Se a nova solução gerou de 50% a 70% de melhores indivíduos, é possível aceitar esta nova população segundo uma probabilidade, e prosseguir para a próxima geração. Caso contrário vá ao passo 4;
- 4) Esta nova solução é desconsiderada e considera-se a solução anterior. Gera-se então uma nova solução e retorna ao passo 01.

## 8.8 CRITÉRIO DE PARADA

Em muitos problemas o critério de parada ocorre quando o fitness de toda a população é 100% ou quando um certo número de iterações é atingido.

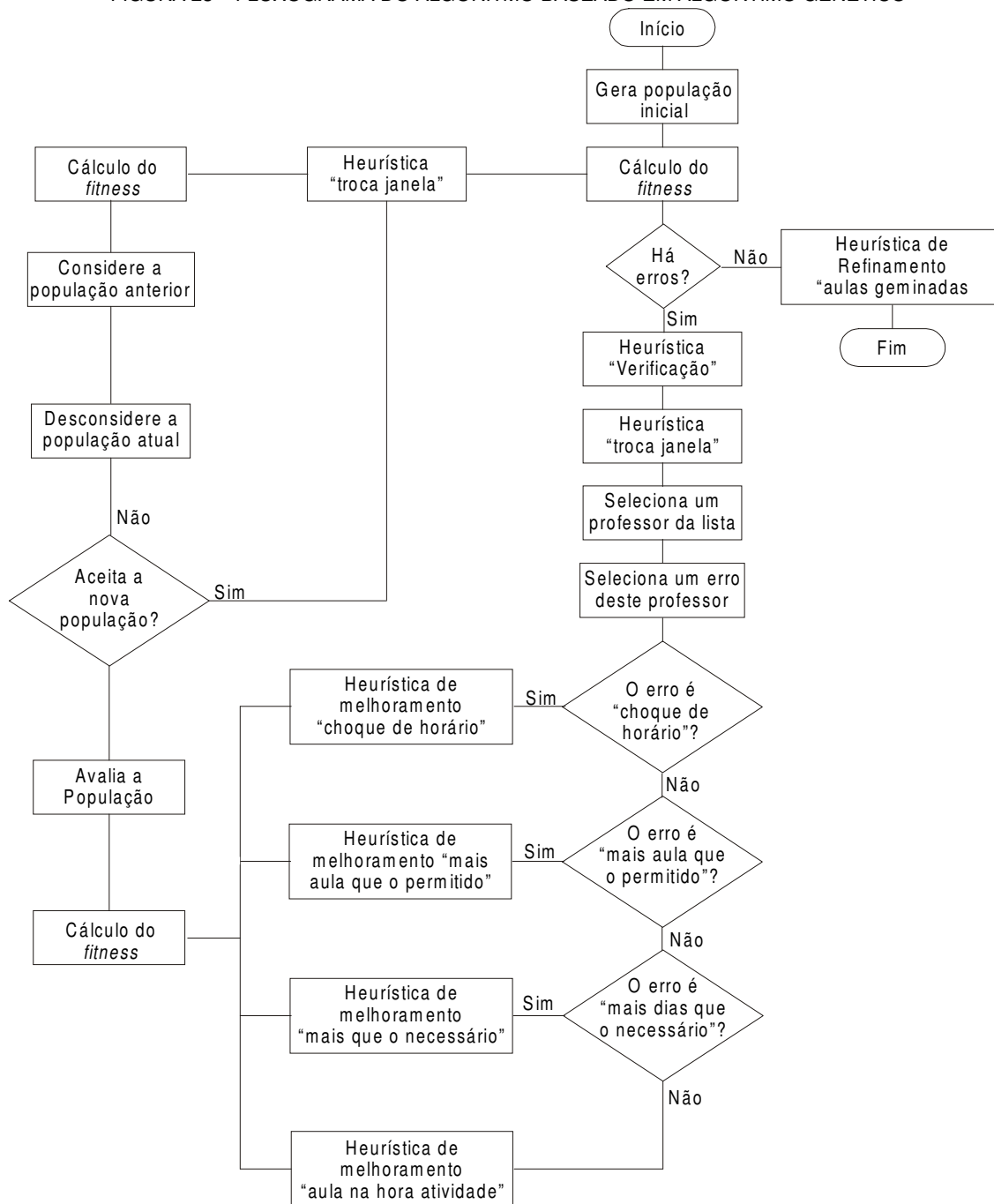
Neste trabalho o critério de parada está descrito na Heurística de Verificação (seção 8.6.1).

Desta forma o problema foi traduzido para um algoritmo baseado em Algoritmo Genético que comanda as heurísticas descritas (figura 23).

As heurísticas foram implementadas baseadas no que realmente ocorre quando é realizada a construção manual da grade horária em uma escola. Desta forma, é “reproduzida” a realidade através das técnicas da Pesquisa Operacional.

Os resultados obtidos com o Algoritmo Genético encontram-se no capítulo 10, onde é realizada a comparação com os outros métodos aplicados neste trabalho.

FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DO ALGORITMO BASEADO EM ALGORITMO GENÉTICO





## 9 A ABORDAGEM DO PROBLEMA REAL ATRAVÉS DE MÉTODO EXATO E ALGORITMO BASE EM ALGORITMO GENÉTICO – MÉTODO MISTO

Após concluída a abordagem do problema pelo Método Exato (capítulo 7) e Método Heurístico (capítulo 8), uma nova abordagem é utilizada neste trabalho: Método Misto.

Esta nova abordagem resolve o problema através do método exato *sem* adicionar à modelagem matemática as restrições de preferência por aulas geminadas que juntas compõem mais de 50% das restrições geradas.

Após encontrada a solução para este novo problema através do método exato trabalha-se, através da Heurística de Refinamento – Preferência ou não por aulas geminadas (seção 8.6.8), a melhoria da solução pelo algoritmo baseado em Algoritmo Genético.

Desta forma encontra-se uma solução mais rápida que o método exato **completo** e com um bom resultado, uma vez que a restrição de preferência por aulas geminadas pode ser considerada como uma restrição flexível, ou seja, nenhum resultado será recusado se a preferência não for atendida.

Resolveu-se aplicar este método para solucionar o problema da grade horária no **ano letivo de 2005**, na escola em que é realizado o estudo de caso.

No início de 2005 algumas mudanças ocorreram no corpo docente da escola, prioridades pelo dia de não vínculo de alguns professores foram alteradas e nova grade com dia de hora-atividade foi imposta pela SMED.

O tempo para resolver o problema pelo método exato foi de aproximadamente 10 horas, tornando este tempo inviável para a resolução de tal horário uma vez que deve ser gerado rapidamente para possíveis alterações. Além disto alguns professores tiveram seu dia de não vínculo

alterado para que o problema obtivesse solução exata. Neste momento vale relembrar que o protótipo trabalha com preferência.

Como foi descrito anteriormente, o dia de não vínculo é de extrema importância para os professores da rede municipal de Araucária. Assim, aplicando o Método Misto, o dia de não vínculo de cada professor é satisfeito, mas em contra partida a preferência por aula geminadas não é satisfeita por completo para alguns professores.

O resultado obtido para o ano letivo de 2005 consta no *anexo 07*.

## 10 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Geradas as grades horárias do ***ano letivo de 2004*** pelos métodos descritos nos capítulos 07, 08 e 09, e pelo software comercial, neste capítulo é realizada a comparação em relação à solução ótima do problema (método exato).

É observado de um modo geral, que as turmas designadas para alguns professores em certos dias são as mesmas em vários métodos.

Também pode ser verificado que os horários vagos são designados no mesmo dia para alguns professores. Desta forma todas as soluções estão em direção à solução ótima.

Deve-se salientar que existe uma solução ótima para o problema, ou seja, foram atendidas todas as restrições pedagógicas e de preferência dos professores. Assim, nenhum professor trabalha no dia de não vínculo preferido e é satisfeita a restrição de preferência ou não por aulas geminadas.

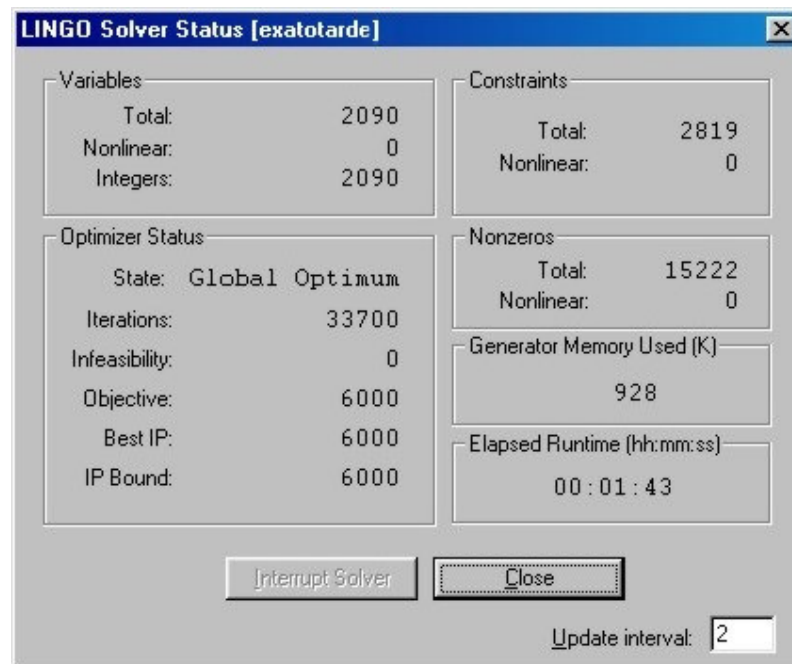
Os Métodos Exato, Heurístico e Misto foram gerados em um Micro-computador com processador *Intel Pentium 4A – 2400MHZ* de 512 MB de memória.

O Método Exato foi gerado em 1min 43 seg, obtendo a solução ótima (figura 21).

O LINGO 6.0 apresenta que no problema real foram geradas 2819 restrições e não 2818 conforme comentada no capítulo 07. Isto deve-se ao fato que o LINGO 6.0 considera a Função Objetivo do problema como uma restrição.

Os resultados por professor e por turma constam nos anexos 02 a 06. Apenas os casos que não satisfizeram alguma restrição são apresentados durante a comparação.

FIGURA 24 – DADOS GERADO PELO LINGO 6.0 REFERENTE AO MÉTODO EXATO



### 10.1 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: MANUAL X MÉTODO EXATO

O horário manual foi gerado pelos professores da escola no início do período letivo de 2004 (anexo 02).

Todas as heurísticas descritas no capítulo 08 são baseadas nas sugestões e no processo observado durante a elaboração deste horário.

O fato mais importante a ser comentado é a preferência do dia de não vínculo do professor Carlos.

Este professor prefere ter a terça-feira livre (dia de não-vínculo) mas no horário manual não foi possível realizar esta designação (figura 25). Observa-se ainda que na terça-feira este professor, que prefere aulas geminadas, possui turmas com duas aulas mas não são geminadas.

Deve-se salientar que mesmo com a alteração do dia de não vínculo do professor Carlos os demais professores permaneceram em seus dias de não vínculo solicitados e já designados.

FIGURA 25 – MANUAL X EXATO – PROFESSOR CARLOS

Horário Manual					Método Exato				
H A	5C		5B	5D	H A		5D	5B	5B
H A	5D		5C	5B	H A		5B	5B	5D
H A	5B		5C	5B	H A		5B	5D	5D
H A	5D		5D	5C	H A		5C	5D	5C
H A	5B		5D	5C	H A		5C	5C	5C

Nas figuras 25 a 47, **HA significa hora-atividade**. O dia de hora-atividade, como já comentado, o qual é imposto pela mantenedora a cada início do ano letivo.

Outro caso importante a ser observado no horário manual é o da professora Jucimara.

A professora possui 14 aulas em sala de aula, logo são necessários apenas 3 dias de trabalho, mas no horário manual 01(uma) aula está designada no seu dia de hora-atividade (figura 26).

Esta designação causa transtorno tanto ao professor quanto a direção no dias de assessoramento.

Nestes dias a professora deve deixar atividade para seus alunos e uma pedagoga (ou outro funcionário da escola) assumirá a turma.

FIGURA 26 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA JUCIMARA

Horário Manual					Método Exato				
	6A		5A	8A		7B	7A	H A	7A
	5A		H A	7B		6C	6C	H A	8A
	7A	6C	H A	6B		5A	6B	H A	6B
	6C	6B	H A	6A		5A	6A	H A	6A
	7B	8A	H A	7A		8A		H A	7B

Outros casos de menor importância são observados. Estes referem-se as restrições de preferência ou não por aulas geminadas.

Temos que os horários gerados manualmente para os professores Carlos (comentado acima), Edilson, Marilsema, Lúcia, Marie e Rosália não contemplam a preferência ou não por aula geminadas (figuras 25 e 27 a 31).

FIGURA 27 – MANUAL X EXATO – PROFESSOR EDILSON – AULAS NÃO GEMINADAS

Horário Manual					Método Exato				
6A	H A	6A		6C	6A	H A	6B		6B
6C	H A	6B		6A	6C	H A	6A		6C
6A	H A	6A		6C	6B	H A	6C		6A
6B	H A	6C		5B	6A	H A	6C		6C
6C	H A	6B		5B	6B	H A	6B		6A

FIGURA 28 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA MARISELMA - AULAS NÃO GEMINADAS

Horário Manual					Método Exato				
5C		H A	5D	5A	5B		H A	8A	8A
5C		H A	5D	5D	5D		H A	5A	5C
8A		H A		5C	5B		H A	5C	5A
5B		H A	5B	8A	5A		H A	5C	5B
5A		H A	5A	5B	5D		H A		5C

FIGURA 29 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA LÚCIA - AULAS GEMINADAS

Horário Manual					Método Exato				
H A				6A	H A	6B		6A	6A
H A	6B		6B	6B	H A	6B			6A
H A	6B		6C	6A	H A	6A			6C
H A	6A		6C	6C	H A			6C	6B
H A			6A	6C	H A	6C		6C	6B

FIGURA 30 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA MARIE - AULAS GEMINADAS

Horário Manual					Método Exato				
H A	8A	8A	8A	7B	H A	5A	7B	5A	7B
H A	8A	5A	5A	7A	H A	8A	7A	7B	7A
H A	5A	5A	7A	8A	H A	8A	5A	8A	7A
H A	5A	7A	7B	7A	H A	7B	5A	7A	8A
H A	7A	7B	7B	7B	H A	7B	8A	7A	5A

FIGURA 31 – MANUAL X EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA - AULAS GEMINADAS

Horário Manual					Método Exato				
5A	5A		6A	H A	5A	5B		6B	H A
6B	6C		6A	H A	5A	5B		6C	H A
5B	6B		5A	H A	6A	6C		6A	H A
6C	5B		6B	H A	6B	6C		6A	H A
6B	6A		6C	H A	5B	6B		5A	H A

## 10.2 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: SOFTWARE COMERCIAL X MÉTODO EXATO

O horário gerado pelo software comercial (anexo 06) para este estudo de caso foi realizado em um computador Authentic AMD – AMD Duron(tm) – 120,0MB RAM.

O software possui uma interface com várias sugestões para restrições.

Os dados de entrada neste software são os mesmos para os demais métodos: os dias de trabalhos, a opção de ter uma aula na hora-atividade (não recomendada pela SMED), a preferência ou não por aulas geminadas.

O tempo total para resolver este problema ficou em torno de 5 minutos.

Não houve como verificar o tempo corretamente pois na tentativa de encontrar uma solução o software faz várias sugestões para que o horário seja elaborado, como: mudanças de dias de trabalho, mudança de turmas de alguns professores ou mesmo a alteração de preferência, ou não, por aulas geminadas.

Quando o software prevê que não haverá melhora na solução ou que demorará muito tempo para encontrá-la, ele alerta desta consequência e sugere que alguma alteração seja realizada.

No horário gerado para este problema houve, após o alerta dado pelo software, a alteração da opção de preferência da professora Jucimara por aulas geminadas (figura 32).

FIGURA 32 – SOFTWARE COMERCIAL X EXATO – PROFESSORA JUCIMARA - AULAS GEMINADAS

Software Comercial					Método Exato				
	6A	6B	H A	8A		7B	7A	H A	7A
	8A	6C	H A	7B		6C	6C	H A	8A
		5A	H A	6C		5A	6B	H A	6B
	7A	7B	H A	6B		5A	6A	H A	6A
	6A	5A	H A	7A		8A		H A	7B

O software não conseguiu minimizar o total de dias de trabalho da professora Rosália e designou uma aula em seu dia de hora atividade, contrariando o recomendado pela mantenedora do Ensino Municipal (figura 33).

Desta forma a professora Rosália tem o quinto horário na terça-feira livre.

FIGURA 33 – SOFTWARE COMERCIAL X EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA

Software Comercial					Método Exato				
5A	6C		6C	6A	5A	5B		6B	H A
5A	6C		5A	H A	5A	5B		6C	H A
6B	5B		6A	H A	6A	6C		6A	H A
6B	5B		6A	H A	6B	6C		6A	H A
5B			6B	H A	5B	6B		5A	H A



### 10.3 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: MÉTODO HEURÍSTICO (AG) X MÉTODO EXATO

O horário gerado pelo método heurístico foi realizado no mesmo computador que o método exato. Várias soluções foram geradas, sendo a melhor delas apresentada no anexo 04.

No método heurístico toda vez que é gerado um novo horário obtém-se uma solução diferente. Isto deve-se ao fato do método trabalhar com números gerados aleatoriamente para tentar solucionar os erros que constam no problema.

Desta forma a solução apresentada foi gerada em 53 segundos.

No total o método realizou 767 iterações. Deste total de iterações o Algoritmo Genético aceitou 596 inversões e recusou 171 para encontrar a solução para o problema.

Por ser um método heurístico, não se espera encontrar uma solução ótima, mas espera-se encontrar uma boa solução.

A solução encontrada não respeita a preferência por aulas geminadas de alguns professores, mas mesmo assim o horário não é recusado pois esta restrição é flexível.

Este fato ocasiona que o fitness de cada indivíduo, para esta solução, seja: 5ª A – 93%; 5ª B – 92%; 5ª C – 92,64%; 5ª D – 96%; 6ª A – 96%; 6ª B – 100%; 6ª C – 96%; 7ª A – 88,78%; 7ª B – 96,5%; e 8ª A – 96,5%.

Observa-se que a turma (indivíduo) que obteve maior fitness é a 6ª série B. Conclui-se que neste indivíduo não há nenhum erro, ou seja, todas as restrições são satisfeitas. Nas demais turmas temos que alguns professores não tiveram sua preferência, em relação a aulas geminadas, atendida por completo.

Mesmo assim pode-se considerar que o algoritmo conseguiu uma solução ótima pois nenhum professor possui aula na hora-atividade (exceto o

professor Valmir, pois possui 16 h/a) como o recomendado pela SMED, a preferência pelo dia de não vínculo de cada professor é contemplada e nenhum professor possui mais dias de trabalho que o necessário.

Assim verificando a preferência por aulas geminadas tem-se que para os seguintes professores esta restrição não é contemplada por completo: Carlos, Lúcia, Marie, Rafael, Regina, Rosália e Valmir (figura 34 a 40).

FIGURA 34 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR CARLOS - AULAS GEMINADAS

Método Heurístico - AG					Método Exato				
H A		5D	5B	5B	H A		5D	5B	5B
H A		5C	5D	5C	H A		5B	5B	5D
H A		5C	5D	5B	H A		5B	5D	5D
H A		5B	5C	5D	H A		5C	5D	5C
H A		5D	5B	5C	H A		5C	5C	5C

FIGURA 35 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA LÚCIA - AULAS GEMINADAS

Método Heurístico - AG					Método Exato				
H A			6B	6C	H A	6B		6A	6A
H A	6C		6B	6C	H A	6B			6A
H A	6C			6A	H A	6A			6C
H A	6B		6A	6B	H A			6C	6B
H A			6A	6A	H A	6C		6C	6B

FIGURA 36 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA MARIE - AULAS GEMINADAS

Método Heurístico - AG					Método Exato				
H A	7A	7B	5A	7A	H A	5A	7B	5A	7B
H A	8A	8A	7A	7B	H A	8A	7A	7B	7A
H A	7B	5A	7B	8A	H A	8A	5A	8A	7A
H A	5A	7A	7A	8A	H A	7B	5A	7A	8A
H A	5A	5A	8A	7B	H A	7B	8A	7A	5A

FIGURA 37 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR RAFAEL - AULAS NÃO GEMINADAS

Método Heurístico - AG					Método Exato				
	7B	8A	7A	H A		7A	5C	7A	H A
	5D	7A	8A	H A		5C	8A	5D	H A
	5C	7B	7A	H A		5D	5C	7B	H A
	8A	5C	5D	H A		8A	7A	7B	H A
	5D	5C	7B	H A		5D	7B	8A	H A

FIGURA 38 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA REGINA - AULAS NÃO GEMINADAS

Método Heurístico - AG					Método Exato				
7A	6C	H A		6B	6B	6A	H A		6C
7B	7A	H A		6A	6A	7A	H A		6B
6A	6B	H A		7A	6C	7B	H A		7B
7B	7B	H A		6C	7B	6B	H A		7A
6B	6A	H A		6C	6A	7A	H A		6C

FIGURA 39 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA - AULAS GEMINADAS

Método Heurístico - AG					Método Exato				
5B	5B		6A	H A	5A	5B		6B	H A
6A	6B		5B	H A	5A	5B		6C	H A
5A	5A		6B	H A	6A	6C		6A	H A
5A	6C		6B	H A	6B	6C		6A	H A
6A	6C		6C	H A	5B	6B		5A	H A

FIGURA 40 – MÉTODO HEURÍSTICO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR VALMIR - AULAS NÃO GEMINADAS

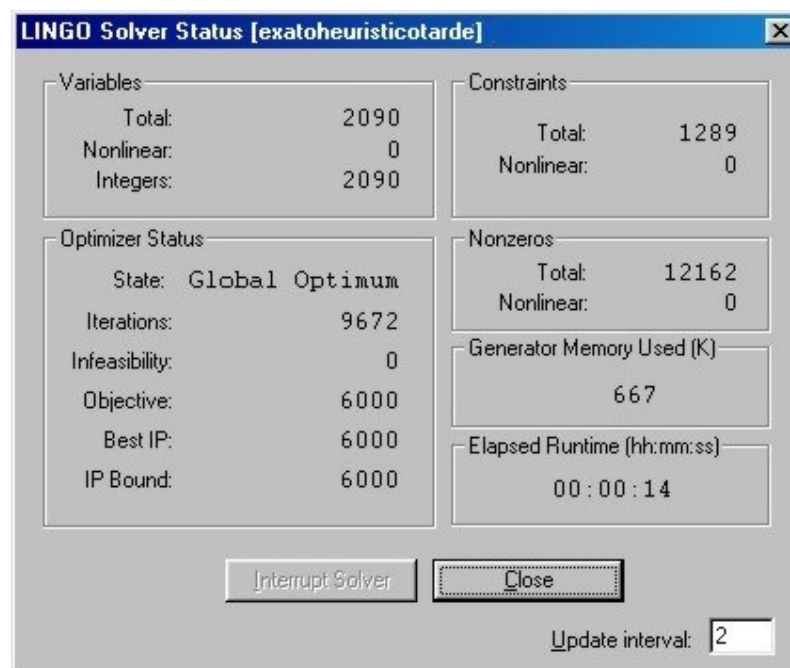
Método Heurístico - AG					Método Exato				
5A	5C		5D	5D	5D	H A	5D	5D	5D
5D	H A		5A	5B	5C	H A	5C	5A	5A
5D	H A		5B	5A	5A	H A	5B	5B	5B
5C	H A		5A	5C	5C	5C	5A	5D	5D
5B	H A		5C	5B	5A	H A	5B	5B	5B

#### 10.4 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS: MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO

O horário gerado pelo Método Misto (anexo 05) foi realizado no mesmo computador que o método exato.

Esta abordagem encontrou a solução, sem a preferência ou não por aulas geminadas, em 14 segundos (figura 41).

FIGURA 41 – DADOS GERADOS PELO LINGO 6.0 REFERENTE AO MÉTODO MISTO



Após encontrada a solução, o algoritmo baseado em Algoritmo Genético a melhorou maximizando a preferência dos professores conforme o descrito na seção 8.6.8.

O tempo total para gerar esta solução é de 19 segundos: 14 segundos para resolver pelo LINGO 6.0 a modelagem matemática do problema e 05 segundos para o algoritmo melhorá-la.

Esta abordagem é a que resolve o problema mais rapidamente e consegue uma boa solução.

O tempo total desta abordagem (19 segundos) é seis vezes menor que o tempo total do método exato (1min43s).

Nesta abordagem a preferência pelo dia de não vínculo de todos os professores são contempladas, bem como a solicitação da SMED em não haver aula na hora atividade.

A única preferência não atendida por completo é a que se refere as aulas geminadas. Assim os professores Carlos, Jucimara, Lúcia, Marie, Rosália e Rossano não são contemplados totalmente nesta restrição (figuras 42 a 47).

FIGURA 42 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR CARLOS - AULAS GEMINADAS

Método Misto					Método Exato				
H A		5C	5D	5B	H A		5D	5B	5B
H A		5C	5C	5D	H A		5B	5B	5D
H A		5B	5B	5C	H A		5B	5D	5D
H A		5D	5B	5D	H A		5C	5D	5C
H A		5D	5C	5B	H A		5C	5C	5C

FIGURA 43 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA JUCIMARA - AULAS GEMINADAS

Método Misto					Método Exato				
	8A	6A	H A	7A		7B	7A	H A	7A
	7B	6B	H A	7B		6C	6C	H A	8A
	6C	5A	H A	6C		5A	6B	H A	6B
	7A	5A	H A	8A		5A	6A	H A	6A
		6A	H A	6B		8A		H A	7B

FIGURA 44 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA LÚCIA - AULAS GEMINADAS

Método Misto					Método Exato				
H A			6B	6B	H A	6B		6A	6A
H A				6B	H A	6B			6A
H A	6A		6C	6A	H A	6A			6C
H A	6A		6C	6C	H A			6C	6B
H A	6C		6B	6A	H A	6C		6C	6B

FIGURA 45 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA MARIE - AULAS GEMINADAS

Método Misto					Método Exato				
H A	7A	8A	5A	7B	H A	5A	7B	5A	7B
H A	5A	5A	8A	5A	H A	8A	7A	7B	7A
H A	8A	7A	8A	7A	H A	8A	5A	8A	7A
H A	7B	7A	7B	7A	H A	7B	5A	7A	8A
H A	5A	8A	7B	7B	H A	7B	8A	7A	5A

FIGURA 46 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSORA ROSÁLIA – AULAS GEMINADAS

Método Misto					Método Exato				
5A	6A		6A	H A	5A	5B		6B	H A
5A	6C		6C	H A	5A	5B		6C	H A
5B	6B		6B	H A	6A	6C		6A	H A
5B	5B		6B	H A	6B	6C		6A	H A
6C	6A		5A	H A	5B	6B		5A	H A

FIGURA 47 – MÉTODO MISTO X MÉTODO EXATO – PROFESSOR ROSSANO - AULAS NÃO GEMINADAS

Método Misto					Método Exato				
		5D	H A			5C	5B		
	5B	5D	H A				5D		
	5C		H A						
	5C		H A				5B		
	5B		H A			5C	5D		

## 10.5 GRÁFICOS COMPARATIVOS

Os gráficos mostram o quanto cada método contemplou as seguintes restrições:

- Professores contemplados com a primeira opção pelo dia de não vínculo;
- Professores sem aulas designadas no dia de hora-atividade;
- Professores com total de dias de trabalho necessário em sala de aula contemplados;
- Professores com aulas geminadas solicitadas;
- Professores com aulas não geminadas solicitadas;

GRÁFICO 01 – QUANTIDADE DE PROFESSORES CONTEMPLADOS COM A PRIMEIRA OPÇÃO PELO DIA DE NÃO VÍNCULO

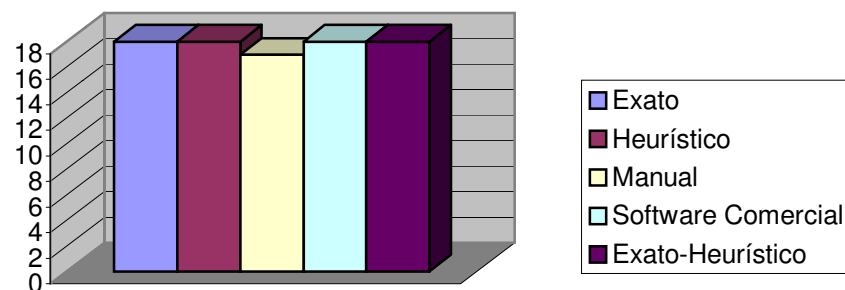


GRÁFICO 02 - QUANTIDADE DE PROFESSORES QUE NÃO POSSUEM AULAS NO DIA DE HORA ATIVIDADE

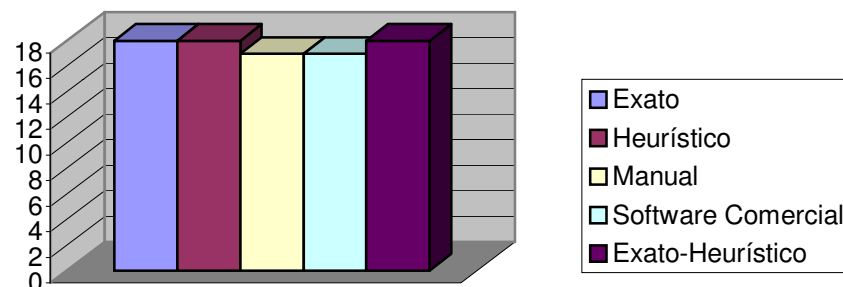


GRÁFICO 03 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM TOTAL DE DIAS DE TRABALHO NECESSÁRIO EM SALA DE AULA CONTEMPLADO

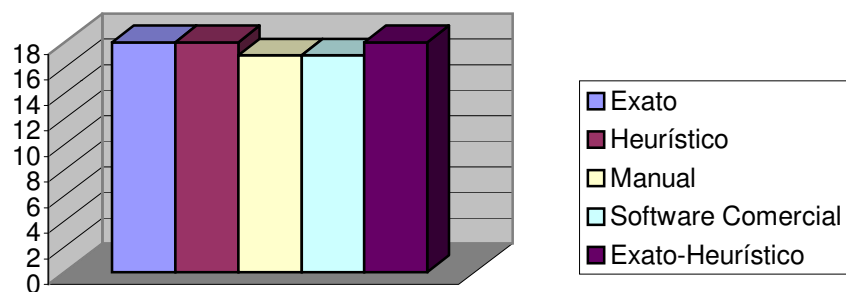


GRÁFICO 04 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM A PREFERÊNCIA POR AULA GEMINADAS CONTEMPLADA POR COMPLETO.

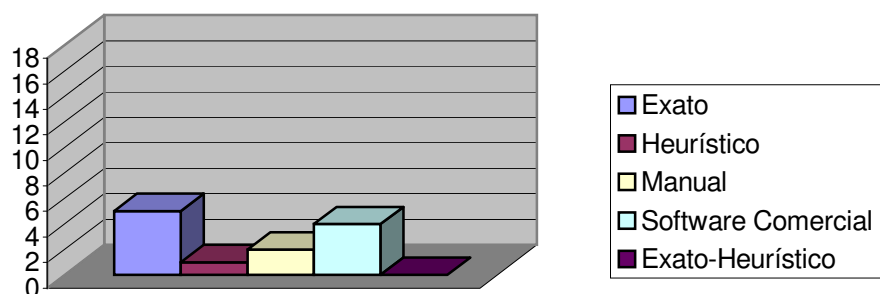


GRÁFICO 05 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS NÃO GEMINADAS CONTEMPLADA POR COMPLETO.

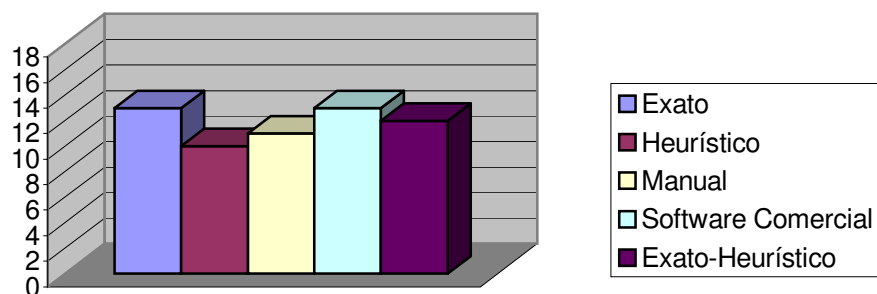




GRÁFICO 06 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS GEMINADAS CONTEMPLADA PARCIALMENTE.

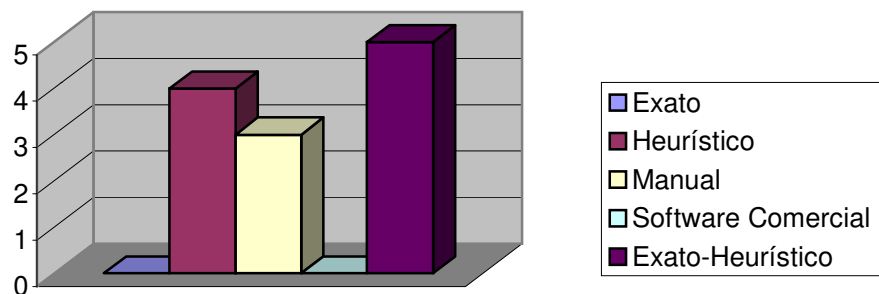


GRÁFICO 07 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS NÃO GEMINADAS CONTEMPLADA PARCIALMENTE.

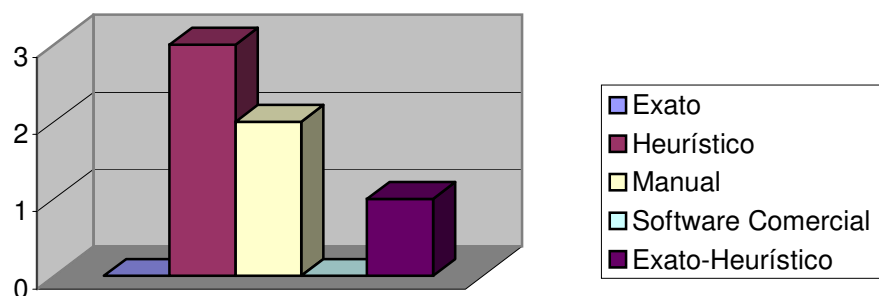
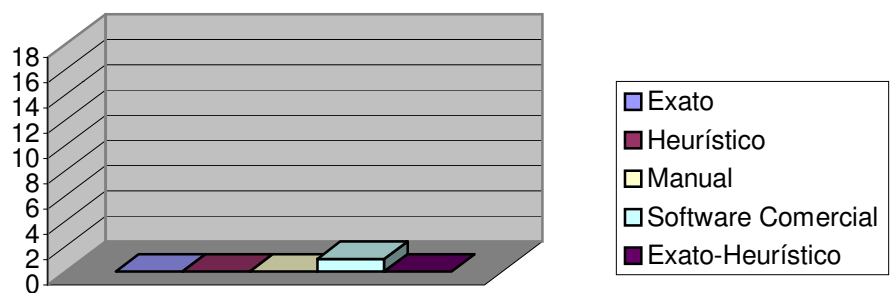


GRÁFICO 08 - QUANTIDADE DE PROFESSORES COM PREFERÊNCIA POR AULAS GEMINADAS NÃO CONTEMPLADA TOTALMENTE.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De modo geral os métodos implementados obtiveram uma boa solução, pois através da pesquisa realizada com os professores da rede Municipal de Ensino de Araucária as restrições mais importantes são contempladas: preferência pelo dia de não vínculo e não ser designada aula para o dia de hora atividade.

Estes professores informaram que não recusam um horário se suas aulas designadas não atenderem a preferência por aula geminadas, pois os anos de magistério os fazem compreender o quanto é difícil “fechar” o horário e satisfazer a todas as restrições impostas.

Em contra partida, se a preferência pelo dia de não vínculo não for respeitada, muitos sugerem que seja refeito o horário com alteração de algum professor que possui seu horário mais flexível.

Assim os resultados obtidos pelos métodos propostos neste trabalho mostram-se mais eficientes que o método manual e o software comercial, para este estudo de caso.

No método manual a preferência pelo dia de não vínculo de um professor não é respeitada e uma professora que possui carga horária inferior a 15h/a tem uma aula designada no dia de hora atividade.

No software comercial uma professora está designada com uma aula no dia de hora atividade, contrariando a recomendação da mantenedora (SMED) e em consequência aumentando o total de dias de trabalho.

Percebe-se, através dos resultados obtidos, que o software comercial privilegia as restrições pedagógicas, deixando em segundo plano a minimização dos dias de trabalho do professor.

Em todos os métodos, exceto o exato (solução ótima), não é respeitada a preferência em relação as aulas geminadas de todos os professores, para poder satisfazer as restrições mais importantes. Este

resultado não é surpreendente pois as heurísticas nem sempre conseguem gerar a solução ótima, ainda mais num problema como a designação de carga horária de professores.

O problema real, modelado neste trabalho, comprova a complexidade em satisfazer todas as 2819 restrições e 2090 variáveis binárias de decisão, sendo que esta escola possui apenas 10 turmas e 18 professores.

Como sugestão para trabalhos futuros propõem-se:

- acrescentar restrições como preferência em ser designada apenas uma aula por dia na turma aperfeiçoando a interface com o usuário.
- comparar os resultados gerados com outros métodos heurísticos.
- abordar o problema dando enfoque ao caráter pedagógico, como satisfazer as aulas geminadas ou não, conforme a disciplina, mesmo que o total de dias de trabalho não seja satisfeito.
- verificar se os algoritmos propostos conseguem obter boa solução para escolas com número de turmas diferentes.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. Editora Livros Técnicos e Científicos, 2.ed. Rio de Janeiro, 1998.

ARAGON, C. R.; JOHNSON, D. D.; McGEACH, L. A.; SCHEVON C. **Optimization by simulated annealing: na experimental evaluation**. Workshop on Statistical Physics in Engineering and Biology, 1984.

BORGES, S. K. **Resolução de timetabling utilizando algoritmos genéticos e evolução cooperativa**. Curitiba, 2003. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

BRAZ JUNIOR, O. de O. **Otimização de horários em instituições de ensino superior através de algoritmos genéticos**. Florianópolis, 2000. 73. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

BRUNA, M. D.; COSTA, E. O.; POZO, A. R. **Resolução de “timetabling” utilizando evolução cooperativa**. Disponível em: <<http://www.sbc.org.br/reic/edicoes/2003e1/cientificos/resumo03.html>> Acessado em 10 de ago. 2004.

CARVALHO, M. A. **Rumo a um Modelo para a Solução Criativa de Problemas nas Etapas**. Disponível em: <[www.decarvalho.eng.br/mac\\_artigo\\_ii\\_cbgdp.pdf](http://www.decarvalho.eng.br/mac_artigo_ii_cbgdp.pdf)> Acessado em: 15 de mar. 2005.

COLORNI, A.; DORIGO, M.; MANIEZZO, V. **Metaheuristics for high school timetabling**. In: Computational Optimization and Applications, 9, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, NL, p 275-298. 1998.

CONCILIO, R. **Contribuições à solução de problemas de escalonamento pela adição conjunta de computação evolutiva e otimização com restrições**. Campinas, 2000. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas.

COSTA, D. M. B. **Distribuição das cargas horárias de professores numa instituição de ensino**. Curitiba, 1994. 55 f. Monografia (Especialização em Matemática Aplicada) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

COWLING, P.; KENDALL, G.; HAN, L. **An investigation of a hyperheuristic genetic algorithm applied to a trainer scheduling problem**. Disponível em: <<http://www.cs.nott.ac.uk/~gmk/papers/cec2002lxh.pdf>> Acessado em: 20 de fev. 2005.

FEO, T.A.; RESENDE, M.G.C. **Greedy randomized adaptive search procedures**. Journal of Global Optimization, v. 6, p. 109-133. 1992.

FOGEL, D.B. **Na introduction to simulated evolutionary computation**. IEEE Transactions on Neural Networks. v. 5, p 3-14. 1994

GLOVER, F. **Tabu search**. Part I. ORSA Journal on Computing, 1 (3): 190-206, 1989.

GREFENSTETTE, J. J. **Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms**. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, v. 16, p. 122-128, 1986.

GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Massachusetts, 1989.

HANSEN, P., JAUMARD, B. **Minimum sum of diameters clustering**. J of Classification, 4, 2, 1986.

HOFFMEISTER, S., BÄCK, T. **Genetic algorithms and evolution strategies: similarities and differences**. In: SCHWESEL; H. P.; MANNER, R. (EDS.), 1(ST) WORKSHOP PARALLEL PROBLEM SOLVING FROM NATURE - PPSN (1990: Dortmund, Germany). p. 455-469, 1990.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**. 2ed. Cambridge, USA: Mit Press, p. 211, 1992

KIRKPATRICK, S.; GELATT, Jr. D. D.; VECCHI, M.P. **Optimization by simulated annealing**. Science, v 220, p. 671-680, 1983.

KOTSKO, E. G. S. **Otimização na construção da grade horária escola – uma aplicação**. Curitiba, 2003. 66 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Setor de Ciências Exatas e Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

LAGUNA, M. **Tabu search tutorial**. II Escuela de Verano Latino-Americana de Investigación Operativa, Mendes, RJ, 1991.

LAND, A. H., DOIG, A. G. **An automatic method of solving discrete programming problems**. Econometrica, v. 28. p. 497-520, 1960.

LDB. Lei de Diretrizes e Bases – nº 9394/96.

LOPES, M. C.; SCHOEFFEL, P. **Um método de designação para o problema de reservas de sala de aula**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, II, Itajaí, 2002.

LUCAS, D. C. **Algoritmos Genéticos: um estudo de seus conceitos fundamentais e aplicação no problema de grade horária**. Pelotas, 2000. 57 f. Monografia (Bacharelado em Informática) – Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas.

MICHALEWICZ, Z.; SCHOENMAUER, M. **Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems**. Evolutionary Computation. v. 4, p 1-32. 1996.

MURTY, K. G. **Linear and combinatorial programming**. Robert E. Krieger Publishing Company. Florida, 1985.

PINHERIO, P.R.; OLIVEIRA, J.A. **Um ambiente de apoio a construção de horário escolar na WEB: modelagem implementação e aplicação nas escolas de ensino médio**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XXXIII, Campos do Jordão-SP. 2001.

PROPOSTA PEDAGÓGICA. **Escola Municipal Planalto dos Pinheiros**. Araucária, 2003.

PUCCINI, A. de L.; PIZZOLATO, N. D. **Programação Linear**. Editora Livros Técnicos e Científicos, 2.ed. Rio de Janeiro, 1990.

REEVES, C. R. **Modern heuristic techniques for combinatorial problems**. McGraw-Hill Book Company Europe. London, 1995.

SMED. **Estatística Mensal – Novembro/2004**. Araucária, 2004.

SORROCHE, R. LOPES, M. C. **Análise comparativa de algoritmos de grafos para um sistema de auxílio à matrícula de alunos**. In: Semirco – Seminário de Computação, XII. Itajaí, 2003.

SOUZA, M. J. F.; MACULAN, N; OCHI, L. S. **Uma heurística para o problema de programação de horários em escolas**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, XXIII, São Carlos-SP. 2001.

SUCUPIRA, I. R. **Métodos Heurísticos Genéricos: Meta-heurísticas e Hiper-heurísticas**. Disponível em: <[www.ime.usp.br/~igorrs/monografias/metahiper.pdf](http://www.ime.usp.br/~igorrs/monografias/metahiper.pdf)> Acessado em 25 de mar. 2005.

ZAMBONI, L. V. de S.; SIQUEIRA, P. H. **Aplicações de meta-heurística no problema de designação de turmas às salas de aula na Universidade Federal do Paraná**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, Campos do Jordão-SP. 2001.

ZIONTS, S. **Linear and Integer Programming**. Prentice-Hall. New Jersey. 1974.

## **ANEXO 01 – PESQUISA DE PREFERÊNCIA**

### *Preferências Individuais*

Prof.....Mês/Ano admissão:.....

Disciplina.....Carga Horária:.....

Turmas: 5A ( ) 5B ( ) 5C ( ) 5D ( ) 7A ( ) 7B ( )  
6A ( ) 6B ( ) 6C ( ) 8A ( )

Escolha em ordem crescente o dia de não vínculo. (1-2-3-4-5)

( ) 2ª-feira                      ( ) 5ª-feira

( ) 3ª-feira                      ( ) 6ª-feira

( ) 4ª-feira

Marque X no dia da hora-atividade.

( ) 2ª-feira                      ( ) 5ª-feira

( ) 3ª-feira                      ( ) 6ª-feira

( ) 4ª-feira

Gostaria de aulas geminadas: ( ) Sim ( ) Não – Porquê?.....

Observações:.....



**ANEXO 02 – HORÁRIO GERADO MANUALMENTE**

<b>5ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Rosalia	Marta	Rosalia	Jucimara	Marisel.
Vera	Jucimara	Marie	Marie	Noeli
Valmir	Marie	Marie	Rosalia	Valmir
Marta	Marie	Noeli	Valmir	Valmir
Marisel.	Vera	Marta	Marisel.	Vera

<b>5ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Marta	Vera	Marta	Carlos	Valmir
Valmir	Marta	Noeli	Valmir	Carlos
Rosalia	Carlos	Rossano	Valmir	Carlos
Marisel.	Vera	Rosalia	Marisel.	Vera
Rosalia	Carlos	Rossano	Noeli	Marisel.

<b>5ª C</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Marisel.	Carlos	Rossano	Valmir	Vera
Marisel.	Vera	Rafael	Carlos	Valmir
Marta	Rafael	Noeli	Carlos	Marisel.
Vera	Marta	Marta	Rafael	Carlos
Valmir	Rossano	Noeli	Valmir	Carlos

<b>5ª D</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Valmir	Valmir	Noeli	Marisel.	Carlos
Marta	Carlos	Rossano	Marisel.	Marisel.
Vera	Marta	Marta	Rafael	Vera
Valmir	Carlos	Rossano	Carlos	Noeli
Vera	Rafael	Rafael	Carlos	Valmir

<b>6ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Edilson	Jucimara	Edilson	Rosalia	Lucia H.
Clarice	Gisele	Dayana	Rosalia	Edilson
Edilson	Regina	Edilson	Clarice	Lucia H.
Gisele	Lucia H.	Gisele	Dayana	Jucimara
Regina	Clarice	Rosalia	Lucia H.	Regina

<b>6ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Clarice	Clarice	Gisele	Dayana	Regina
Rosalia	Lucia H.	Edilson	Lucia	Lucia
Regina	Lucia H.	Rosalia	Dayana	Jucimara
Edilson	Regina	Jucimara	Rosalia	Edilson
Gisele	Gisele	Edilson	Clarice	Edilson

<b>6ª C</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Gisele	Gisele	Dayana	Clarice	Edilson
Edilson	Regina	Rosalia	Dayana	Regina
Clarice	Clarice	Jucimara	Lucia	Edilson
Rosalia	Jucimara	Edilson	Lucia	Lucia
Edilson	Regina	Gisele	Rosalia	Lucia

<b>7ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Regina	Rafael	Rafael	Anderson	Noeli
Gisele	Clarice	Anderson	Rafael	Marie
Anderson	Jucimara	Gisele	Marie	Regina
Regina	Gisele	Marie	Noeli	Marie
Clarice	Marie	Anderson	Anderson	Jucimara

<b>7ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Anderson	Regina	Anderson	Rafael	Marie
Regina	Rafael	Gisele	Anderson	Jucimara
Gisele	Gisele	Anderson	Noeli	Noeli
Clarice	Clarice	Rafael	Marie	Regina
Anderson	Jucimara	Marie	Marie	Marie

<b>8ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Vera	Marie	Marie	Marie	Jucimara
Anderson	Marie	Marta	Noeli	Vera
Mariselma	Vera	Rafael	Anderson	Marie
Anderson	Rafael	Anderson	Anderson	Mariselma
Marta	Marta	Jucimara	Rafael	Noeli

Professor	<b>Anderson</b>	<b>Matemática</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7B	Hora atividade	7B	7A	Não vínculo
8A		7A	7B	
7A		7B	8A	
8A		8A	8A	
7B		7A	7A	

Professor	Valmir		Matemática	
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5D	5D	Não vínculo	5C	5B
5B	Hora atividade		5B	5C
5A			5B	5A
5D			5A	5A
5C			5C	5D

Professor	<b>Edilson</b>	<b>Matemática</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6A	Hora Atividade	6A	Não Vínculo	6C
6C		6B		6A
6A		6A		6C
6B		6C		6B
6C		6B		6B

Professor	<b>Marie</b>	<b>Português</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Hora Atividade	8A	8A	8A	7B
	8A	5A	5A	7A
	5A	5A	7A	8A
	5A	7A	7B	7A
	7A	7B	7B	7B

Professor	<b>Lucia Helena</b>	<b>Português</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Hora Atividade	6B 6B 6A	Não vínculo	6B	6A
			6B	6B
			6C	6A
			6C	6C
			6A	6C

Professor	<b>Carlos</b>	<b>Português</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Hora Atividade	5C	Não vínculo	5B	5D
	5D		5C	5B
	5B		5C	5B
	5D		5D	5C
	5B		5D	5C

Professor	<b>Marta</b>	<b>Ed. Física</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5B	5A	5B	Hora Atividade	Não vínculo
5D	5B	8A		
5C	5D	5D		
5A	5C	5C		
8A	8A	5A		

Professor	<b>Gisele</b>	<b>Ed. Física</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6C	6C	6B	Hora Atividade	Não vínculo
7A	6A	7B		
7B	7B	7A		
6A	7A	6A		
6B	6B	6C		

Professor	<b>Jucimara</b>	<b>Artes</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Não vínculo	6A	6C 6B 8A	5A	8A
	5A		Hora Atividade	7B
	7A			6B
	6C			6A
	7B			7A

Professor	<b>Rossano</b>	<b>Artes</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
	5C	5C	Hora Atividade	
		5D		
		5B		
		5D		
		5B		

Professor	Clarice	Geografia		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6B	6B	Hora Atividade	6C	Não vínculo
6A	7A			
6C	6C		6A	
7B	7B			
7A	6A		6B	

Professor	<b>Mariselma</b>	<b>Geografia</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5C	Não vínculo	Hora Atividade	5D	5A
5C			5D	5D
8A			5B	5C
5B				8A
5A			5A	5B

Professor	<b>Rosália</b>	<b>História</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5A	5A	Não vínculo	6A	Hora Atividade
6B	6C		6A	
5B	6B		5A	
6C	5B		6B	
5B	6A		6C	

Professor	<b>Rafael</b>	<b>História</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Não vínculo	7A	7A	7B	Hora Atividade
	7B	5C	7A	
	5C	8A	5D	
	8A	7B	5C	
	5D	5D	8A	

Professor	<b>Noeli</b>	<b>Inglês</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Não vínculo	Hora Atividade	5D		7A
		5B	8A	5A
		5C	7B	7B
		5A	7A	5D
		5C	5B	8A

Professor	<b>Dayana</b>	<b>Inglês</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
	Hora Atividade	6C	6B	
		6A	6C	
			6B	
			6A	

Professor	<b>Vera</b>	<b>Ciências</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
8A	5B	Hora Atividade	Não vínculo	5C
5A	5C			8A
5D	8A			5D
5C	5B			5B
5D	5A			5A

Professor	<b>Regina</b>	<b>Ciências</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7A	7B	Hora Atividade	Não vínculo	6B
7B	6C			6C
6B	6A			7A
7A	6B			7B
6A	6C			6A

**ANEXO 03 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO EXATO**

## MÉTODO EXATO

Horário gerado por protótipo desenvolvido para  
defesa de dissertação de Anderson Roges T. Góes

## RELATÓRIO - TURMAS

T5A					T5B				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
ROSALIA	MARIE	MARTA	MARIE	VERA	MARISELM	ROSALIA	ROSSANO	CARLOS	CARLOS
ROSALIA	MARTA	NOELI	MARISELM	VALMIR	VERA	ROSALIA	CARLOS	CARLOS	VERA
VALMIR	JUCIMARA	MARIE	NOELI	MARISELM	MARISELM	MARTA	CARLOS	VALMIR	VALMIR
MARISELM	JUCIMARA	MARIE	VALMIR	VERA	MARTA	VERA	ROSSANO	NOELI	MARISELM
VALMIR	VERA	MARTA	ROSALIA	MARIE	ROSALIA	MARTA	NOELI	VALMIR	VALMIR
T5C					T5D				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
MARTA	ROSSANO	RAFAEL	NOELI	NOELI	VALMIR	MARTA	CARLOS	VALMIR	VALMIR
VALMIR	RAFAEL	MARTA	VALMIR	MARISELM	MARISELM	VERA	ROSSANO	RAFAEL	CARLOS
MARTA	VERA	RAFAEL	MARISELM	VERA	VERA	RAFAEL	NOELI	CARLOS	CARLOS
VALMIR	VALMIR	CARLOS	MARISELM	CARLOS	VERA	MARTA	MARTA	CARLOS	VALMIR
VERA	ROSSANO	CARLOS	CARLOS	CARLOS	MARISELM	RAFAEL	ROSSANO	NOELI	MARISELM
T6A					T6B				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
EDILSON	REGINA	GISELE	LUCIA	LUCIA	REGINA	LUCIA	EDILSON	ROSALIA	EDILSON
REGINA	GISELE	EDILSON	CLARICE	LUCIA	CLARICE	LUCIA	GISELE	DAYANA	REGINA
ROSALIA	LUCIA	DAYANA	ROSALIA	EDILSON	EDILSON	GISELE	JUCIMARA	CLARICE	JUCIMARA
EDILSON	CLARICE	JUCIMARA	ROSALIA	JUCIMARA	ROSALIA	REGINA	GISELE	CLARICE	LUCIA
REGINA	GISELE	DAYANA	CLARICE	EDILSON	EDILSON	ROSALIA	EDILSON	DAYANA	LUCIA
T6C					T7A				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
CLARICE	GISELE	DAYANA	CLARICE	REGINA	ANDERSON	RAFAEL	JUCIMARA	RAFAEL	JUCIMARA
EDILSON	JUCIMARA	JUCIMARA	ROSALIA	EDILSON	GISELE	REGINA	MARIE	NOELI	MARIE
REGINA	ROSALIA	EDILSON	DAYANA	LUCIA	CLARICE	CLARICE	ANDERSON	ANDERSON	MARIE
CLARICE	ROSALIA	EDILSON	LUCIA	EDILSON	GISELE	GISELE	RAFAEL	MARIE	REGINA
GISELE	LUCIA	GISELE	LUCIA	REGINA	ANDERSON	REGINA	ANDERSON	MARIE	NOELI
T7B					T8A				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
GISELE	JUCIMARA	MARIE	ANDERSON	MARIE	VERA	VERA	ANDERSON	MARISELM	MARISELM
ANDERSON	CLARICE	ANDERSON	MARIE	NOELI	MARTA	MARIE	RAFAEL	ANDERSON	JUCIMARA
GISELE	REGINA	GISELE	RAFAEL	REGINA	ANDERSON	MARIE	MARTA	MARIE	NOELI
REGINA	MARIE	ANDERSON	RAFAEL	NOELI	ANDERSON	RAFAEL	NOELI	ANDERSON	MARIE
CLARICE	MARIE	RAFAEL	ANDERSON	JUCIMARA	MARTA	JUCIMARA	MARIE	RAFAEL	VERA

## MÉTODO EXATO

Horário gerado por protótipo desenvolvido para  
defesa de dissertação de Anderson Roges T. Góes

## RELATÓRIO - PROFESSORES

ANDERSON - MATEMÁTICA					CARLOS - PORTUGUÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T7A	H A	T8A	T7B	---	H A	---	T5D	T5B	T5B
T7B	H A	T7B	T8A	---	H A	---	T5B	T5B	T5D
T8A	H A	T7A	T7A	---	H A	---	T5B	T5D	T5D
T8A	H A	T7B	T8A	---	H A	---	T5C	T5D	T5C
T7A	H A	T7A	T7B	---	H A	---	T5C	T5C	T5C
CLARICE - GEOGRAFIA					DAYANA - INGLÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T6C	---	H A	T6C	---	---	H A	T6C	---	---
T6B	T7B	H A	T6A	---	---	H A	---	T6B	---
T7A	T7A	H A	T6B	---	---	H A	T6A	T6C	---
T6C	T6A	H A	T6B	---	---	H A	---	---	---
T7B	---	H A	T6A	---	---	H A	T6A	T6B	---
EDILSON - MATEMÁTICA					GISELE - EDFÍSICA				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T6A	H A	T6B	---	T6B	T7B	T6C	T6A	H A	---
T6C	H A	T6A	---	T6C	T7A	T6A	T6B	H A	---
T6B	H A	T6C	---	T6A	T7B	T6B	T7B	H A	---
T6A	H A	T6C	---	T6C	T7A	T7A	T6B	H A	---
T6B	H A	T6B	---	T6A	T6C	T6A	T6C	H A	---
JUCIMARA - ARTES					LUCIA - PORTUGUÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
---	T7B	T7A	H A	T7A	H A	T6B	---	T6A	T6A
---	T6C	T6C	H A	T8A	H A	T6B	---	---	T6A
---	T5A	T6B	H A	T6B	H A	T6A	---	---	T6C
---	T5A	T6A	H A	T6A	H A	---	---	T6C	T6B
---	T8A	---	H A	T7B	H A	T6C	---	T6C	T6B
MARIE - PORTUGUÊS					MARISELMA - GEOGRAFIA				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
H A	T5A	T7B	T5A	T7B	T5B	---	H A	T8A	T8A
H A	T8A	T7A	T7B	T7A	T5D	---	H A	T5A	T5C
H A	T8A	T5A	T8A	T7A	T5B	---	H A	T5C	T5A
H A	T7B	T5A	T7A	T8A	T5A	---	H A	T5C	T5B
H A	T7B	T8A	T7A	T5A	T5D	---	H A	---	T5D
MARTA - EDFÍSICA					NOELI - INGLÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5C	T5D	T5A	H A	---	---	H A	---	T5C	T5C
T8A	T5A	T5C	H A	---	---	H A	T5A	T7A	T7B
T5C	T5B	T8A	H A	---	---	H A	T5D	T5A	T8A
T5B	T5D	T5D	H A	---	---	H A	T8A	T5B	T7B
T8A	T5B	T5A	H A	---	---	H A	T5B	T5D	T7A

## Continuação - MÉTODO EXATO

RAFAEL - HISTÓRIA					REGINA - CIÊNCIAS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
---	T7A	T5C	T7A	H A	T6B	T6A	H A	---	T6C
---	T5C	T8A	T5D	H A	T6A	T7A	H A	---	T6B
---	T5D	T5C	T7B	H A	T6C	T7B	H A	---	T7B
---	T8A	T7A	T7B	H A	T7B	T6B	H A	---	T7A
---	T5D	T7B	T8A	H A	T6A	T7A	H A	---	T6C
ROSALIA - HISTÓRIA					ROSSANO - ARTES				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5A	T5B	---	T6B	H A	---	T5C	T5B	H A	---
T5A	T5B	---	T6C	H A	---	---	T5D	H A	---
T6A	T6C	---	T6A	H A	---	---	---	H A	---
T6B	T6C	---	T6A	H A	---	---	T5B	H A	---
T5B	T6B	---	T5A	H A	---	T5C	T5D	H A	---
VALMIR - MATEMÁTICA					VERA - CIÊNCIAS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5D	H A	---	T5D	T5D	T8A	T8A	H A	---	T5A
T5C	H A	---	T5C	T5A	T5B	T5D	H A	---	T5B
T5A	H A	---	T5B	T5B	T5D	T5C	H A	---	T5C
T5C	T5C	---	T5A	T5D	T5D	T5B	H A	---	T5A
T5A	H A	---	T5B	T5B	T5C	T5A	H A	---	T8A



**ANEXO 04 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO HEURÍSTICO – ALGORITMO  
BASEADO EM ALGORITMO GENÉTICO**

## MÉTODO HEURÍSTICO

Horário gerado por protótipo desenvolvido para  
defesa de dissertação de Anderson Roges T. Góes

## RELATÓRIO - TURMAS

T5A					T5B				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
ROSALIA	MARTA	MARTA	VALMIR	MARISELM	MARISELM	ROSALIA	ROSSANO	NOELI	CARLOS
VALMIR	VERA	MARTA	VALMIR	JUCIMARA	ROSALIA	MARTA	CARLOS	ROSALIA	VALMIR
MARISELM	ROSALIA	MARIE	MARIE	VALMIR	VERA	VERA	MARTA	CARLOS	CARLOS
ROSALIA	MARIE	JUCIMARA	NOELI	NOELI	MARISELM	ROSSANO	NOELI	VALMIR	VALMIR
VERA	MARIE	MARIE	MARISELM	VERA	VALMIR	VERA	MARTA	CARLOS	MARISELM
T5C					T5D				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
VALMIR	VALMIR	NOELI	CARLOS	VERA	MARTA	ROSSANO	CARLOS	RAFAEL	VALMIR
VERA	ROSSANO	RAFAEL	NOELI	CARLOS	MARISELM	RAFAEL	NOELI	CARLOS	MARISELM
MARTA	RAFAEL	RAFAEL	MARISELM	MARISELM	VALMIR	MARTA	CARLOS	VALMIR	VERA
VERA	MARTA	CARLOS	MARISELM	CARLOS	VALMIR	VERA	MARTA	CARLOS	VERA
MARTA	ROSSANO	CARLOS	VALMIR	VALMIR	MARISELM	RAFAEL	ROSSANO	NOELI	CARLOS
T6A					T6B				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
CLARICE	JUCIMARA	GISELE	LUCIA	EDILSON	EDILSON	GISELE	JUCIMARA	ROSALIA	REGINA
EDILSON	CLARICE	EDILSON	DAYANA	REGINA	CLARICE	ROSALIA	DAYANA	LUCIA	EDILSON
ROSALIA	GISELE	DAYANA	ROSALIA	LUCIA	EDILSON	REGINA	EDILSON	LUCIA	JUCIMARA
REGINA	GISELE	EDILSON	CLARICE	LUCIA	GISELE	LUCIA	DAYANA	ROSALIA	EDILSON
ROSALIA	REGINA	JUCIMARA	LUCIA	EDILSON	REGINA	CLARICE	GISELE	CLARICE	LUCIA
T6C					T7A				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
GISELE	REGINA	EDILSON	CLARICE	LUCIA	ANDERSON	MARIE	ANDERSON	MARIE	MARIE
GISELE	LUCIA	JUCIMARA	CLARICE	LUCIA	REGINA	REGINA	MARIE	MARIE	NOELI
CLARICE	LUCIA	JUCIMARA	DAYANA	EDILSON	GISELE	CLARICE	GISELE	RAFAEL	REGINA
EDILSON	ROSALIA	GISELE	DAYANA	REGINA	ANDERSON	JUCIMARA	RAFAEL	RAFAEL	JUCIMARA
EDILSON	ROSALIA	EDILSON	ROSALIA	REGINA	CLARICE	GISELE	ANDERSON	ANDERSON	NOELI
T7B					T8A				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
REGINA	RAFAEL	MARIE	ANDERSON	NOELI	VERA	VERA	RAFAEL	MARISELM	JUCIMARA
ANDERSON	GISELE	GISELE	ANDERSON	MARIE	MARTA	MARIE	ANDERSON	RAFAEL	VERA
REGINA	MARIE	ANDERSON	CLARICE	NOELI	ANDERSON	JUCIMARA	NOELI	ANDERSON	MARIE
CLARICE	REGINA	ANDERSON	MARIE	MARIE	MARTA	RAFAEL	MARIE	ANDERSON	MARISELM
GISELE	JUCIMARA	RAFAEL	RAFAEL	JUCIMARA	ANDERSON	MARTA	NOELI	MARIE	MARIE

## MÉTODO HEURÍSTICO

Horário gerado por protótipo desenvolvido para  
defesa de dissertação de Anderson Roges T. Góes

## RELATÓRIO - PROFESSORES

ANDERSON - MATEMÁTICA					CARLOS - PORTUGUÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T7A	H A	T7A	T7B	---	H A	---	T5D	T5C	T5B
T7B	H A	T8A	T7B	---	H A	---	T5B	T5D	T5C
T8A	H A	T7B	T8A	---	H A	---	T5D	T5B	T5B
T7A	H A	T7B	T8A	---	H A	---	T5C	T5D	T5C
T8A	H A	T7A	T7A	---	H A	---	T5C	T5B	T5D
CLARICE - GEOGRAFIA					DAYANA - INGLÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T6A	---	H A	T6C	---	---	H A	---	---	---
T6B	T6A	H A	T6C	---	---	H A	T6B	T6A	---
T6C	T7A	H A	T7B	---	---	H A	T6A	T6C	---
T7B	---	H A	T6A	---	---	H A	T6B	T6C	---
T7A	T6B	H A	T6B	---	---	H A	---	---	---
EDILSON - MATEMÁTICA					GISELE - EDFÍSICA				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T6B	H A	T6C	---	T6A	T6C	T6B	T6A	H A	---
T6A	H A	T6A	---	T6B	T6C	T7B	T7B	H A	---
T6B	H A	T6B	---	T6C	T7A	T6A	T7A	H A	---
T6C	H A	T6A	---	T6B	T6B	T6A	T6C	H A	---
T6C	H A	T6C	---	T6A	T7B	T7A	T6B	H A	---
JUCIMARA - ARTES					LUCIA - PORTUGUÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
---	T6A	T6B	H A	T8A	H A	---	---	T6A	T6C
---	---	T6C	H A	T5A	H A	T6C	---	T6B	T6C
---	T8A	T6C	H A	T6B	H A	T6C	---	T6B	T6A
---	T7A	T5A	H A	T7A	H A	T6B	---	---	T6A
---	T7B	T6A	H A	T7B	H A	---	---	T6A	T6B
MARIE - PORTUGUÊS					MARISELMA - GEOGRAFIA				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
H A	T7A	T7B	T7A	T7A	T5B	---	H A	T8A	T5A
H A	T8A	T7A	T7A	T7B	T5D	---	H A	---	T5D
H A	T7B	T5A	T5A	T8A	T5A	---	H A	T5C	T5C
H A	T5A	T8A	T7B	T7B	T5B	---	H A	T5C	T8A
H A	T5A	T5A	T8A	T8A	T5D	---	H A	T5A	T5B
MARTA - EDFÍSICA					NOELI - INGLÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5D	T5A	T5A	H A	---	---	H A	T5C	T5B	T7B
T8A	T5B	T5A	H A	---	---	H A	T5D	T5C	T7A
T5C	T5D	T5B	H A	---	---	H A	T8A	---	T7B
T8A	T5C	T5D	H A	---	---	H A	T5B	T5A	T5A
T5C	T8A	T5B	H A	---	---	H A	T8A	T5D	T7A

## Continuação - MÉTODO HEURÍSTICO

RAFAEL - HISTÓRIA					REGINA - CIÊNCIAS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
---	T7B	T8A	T5D	H A	T7B	T6C	H A	---	T6B
---	T5D	T5C	T8A	H A	T7A	T7A	H A	---	T6A
---	T5C	T5C	T7A	H A	T7B	T6B	H A	---	T7A
---	T8A	T7A	T7A	H A	T6A	T7B	H A	---	T6C
---	T5D	T7B	T7B	H A	T6B	T6A	H A	---	T6C
ROSALIA - HISTÓRIA					ROSSANO - ARTES				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5A	T5B	---	T6B	H A	---	T5D	T5B	H A	---
T5B	T6B	---	T5B	H A	---	T5C	---	H A	---
T6A	T5A	---	T6A	H A	---	---	---	H A	---
T5A	T6C	---	T6B	H A	---	T5B	---	H A	---
T6A	T6C	---	T6C	H A	---	T5C	T5D	H A	---
VALMIR - MATEMÁTICA					VERA - CIÊNCIAS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5C	T5C	---	T5A	T5D	T8A	T8A	H A	---	T5C
T5A	H A	---	T5A	T5B	T5C	T5A	H A	---	T8A
T5D	H A	---	T5D	T5A	T5B	T5B	H A	---	T5D
T5D	H A	---	T5B	T5B	T5C	T5D	H A	---	T5D
T5B	H A	---	T5C	T5C	T5A	T5B	H A	---	T5A

**ANEXO 05 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO MISTO**

## MÉTODO MISTO

Horário gerado por protótipo desenvolvido para  
defesa de dissertação de Anderson Roges T. Góes

## RELATÓRIO - TURMAS

T5A					T5B				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
ROSALIA	MARTA	MARTA	MARIE	MARISELM	MARTA	VERA	NOELI	MARISELM	VALMIR
ROSALIA	MARIE	MARIE	VALMIR	VALMIR	MARISELM	ROSSANO	MARTA	CARLOS	CARLOS
MARISELM	MARTA	JUCIMARA	NOELI	VERA	ROSALIA	VERA	CARLOS	VALMIR	VALMIR
VALMIR	VERA	JUCIMARA	VALMIR	MARIE	ROSALIA	ROSALIA	NOELI	CARLOS	VERA
VERA	MARIE	NOELI	ROSALIA	MARISELM	MARISELM	ROSSANO	MARTA	VALMIR	CARLOS
T5C					T5D				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
VALMIR	RAFAEL	CARLOS	VALMIR	CARLOS	MARISELM	VALMIR	ROSSANO	CARLOS	VERA
VERA	VERA	CARLOS	MARISELM	NOELI	VALMIR	MARTA	ROSSANO	RAFAEL	VERA
VALMIR	ROSSANO	MARTA	CARLOS	MARISELM	MARTA	RAFAEL	NOELI	MARISELM	CARLOS
VERA	ROSSANO	MARTA	MARISELM	VALMIR	MARISELM	MARTA	CARLOS	NOELI	CARLOS
MARTA	RAFAEL	RAFAEL	CARLOS	NOELI	VALMIR	VERA	CARLOS	RAFAEL	VALMIR
T6A					T6B				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
CLARICE	ROSALIA	JUCIMARA	ROSALIA	LUCIA	EDILSON	CLARICE	EDILSON	LUCIA	EDILSON
REGINA	REGINA	GISELE	DAYANA	LUCIA	CLARICE	GISELE	JUCIMARA	ROSALIA	JUCIMA
EDILSON	LUCIA	EDILSON	CLARICE	EDILSON	GISELE	ROSALIA	GISELE	DAYANA	REGINA
GISELE	LUCIA	GISELE	CLARICE	EDILSON	EDILSON	REGINA	EDILSON	ROSALIA	LUCIA
EDILSON	ROSALIA	JUCIMARA	DAYANA	REGINA	REGINA	CLARICE	DAYANA	LUCIA	LUCIA
T6C					T7A				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
REGINA	GISELE	GISELE	CLARICE	JUCIMARA	ANDERSON	MARIE	RAFAEL	RAFAEL	MARIE
EDILSON	ROSALIA	EDILSON	LUCIA	EDILSON	GISELE	CLARICE	NOELI	CLARICE	REGINA
REGINA	JUCIMARA	DAYANA	ROSALIA	LUCIA	ANDERSON	GISELE	MARIE	ANDERSON	MARIE
CLARICE	GISELE	DAYANA	LUCIA	REGINA	REGINA	JUCIMARA	MARIE	RAFAEL	NOELI
ROSALIA	LUCIA	EDILSON	CLARICE	EDILSON	GISELE	REGINA	ANDERSON	ANDERSON	JUCIMA
T7B					T8A				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
GISELE	REGINA	ANDERSON	NOELI	REGINA	VERA	JUCIMARA	MARIE	ANDERSON	NOELI
ANDERSON	JUCIMARA	RAFAEL	ANDERSON	MARIE	MARTA	RAFAEL	ANDERSON	MARIE	MARISE
CLARICE	REGINA	ANDERSON	RAFAEL	NOELI	VERA	MARIE	RAFAEL	MARIE	JUCIMA
ANDERSON	MARIE	RAFAEL	MARIE	JUCIMARA	MARTA	RAFAEL	ANDERSON	ANDERSON	MARISE
CLARICE	GISELE	GISELE	MARIE	MARIE	ANDERSON	MARTA	MARIE	NOELI	VERA

## MÉTODO MISTO

Horário gerado por protótipo desenvolvido para  
defesa de dissertação de Anderson Roges T. Góes

## RELATÓRIO - PROFESSORES

ANDERSON - MATEMÁTICA					CARLOS - PORTUGUÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T7A	H A	T7B	T8A	---	H A	---	T5C	T5D	T5C
T7B	H A	T8A	T7B	---	H A	---	T5C	T5B	T5B
T7A	H A	T7B	T7A	---	H A	---	T5B	T5C	T5D
T7B	H A	T8A	T8A	---	H A	---	T5D	T5B	T5D
T8A	H A	T7A	T7A	---	H A	---	T5D	T5C	T5B
CLARICE - GEOGRAFIA					DAYANA - INGLÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T6A	T6B	H A	T6C	---	---	H A	---	---	---
T6B	T7A	H A	T7A	---	---	H A	---	T6A	---
T7B	---	H A	T6A	---	---	H A	T6C	T6B	---
T6C	---	H A	T6A	---	---	H A	T6C	---	---
T7B	T6B	H A	T6C	---	---	H A	T6B	T6A	---
EDILSON - MATEMÁTICA					GISELE - EDFÍSICA				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T6B	H A	T6B	---	T6B	T7B	T6C	T6C	H A	---
T6C	H A	T6C	---	T6C	T7A	T6B	T6A	H A	---
T6A	H A	T6A	---	T6A	T6B	T7A	T6B	H A	---
T6B	H A	T6B	---	T6A	T6A	T6C	T6A	H A	---
T6A	H A	T6C	---	T6C	T7A	T7B	T7B	H A	---
JUCIMARA - ARTES					LUCIA - PORTUGUÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
---	T8A	T6A	H A	T6C	H A	---	---	T6B	T6A
---	T7B	T6B	H A	T6B	H A	---	---	T6C	T6A
---	T6C	T5A	H A	T8A	H A	T6A	---	---	T6C
---	T7A	T5A	H A	T7B	H A	T6A	---	T6C	T6B
---	---	T6A	H A	T7A	H A	T6C	---	T6B	T6B
MARIE - PORTUGUÊS					MARISELMA - GEOGRAFIA				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
H A	T7A	T8A	T5A	T7A	T5D	---	H A	T5B	T5A
H A	T5A	T5A	T8A	T7B	T5B	---	H A	T5C	T8A
H A	T8A	T7A	T8A	T7A	T5A	---	H A	T5D	T5C
H A	T7B	T7A	T7B	T5A	T5D	---	H A	T5C	T8A
H A	T5A	T8A	T7B	T7B	T5B	---	H A	---	T5A
MARTA - EDFÍSICA					NOELI - INGLÊS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5B	T5A	T5A	H A	---	---	H A	T5B	T7B	T8A
T8A	T5D	T5B	H A	---	---	H A	T7A	---	T5C
T5D	T5A	T5C	H A	---	---	H A	T5D	T5A	T7B
T8A	T5D	T5C	H A	---	---	H A	T5B	T5D	T7A
T5C	T8A	T5B	H A	---	---	H A	T5A	T8A	T5C

## Continuação - MÉTODO MISTO

RAFAEL - HISTÓRIA					REGINA - CIÊNCIAS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
---	T5C	T7A	T7A	H A	T6C	T7B	H A	---	T7B
---	T8A	T7B	T5D	H A	T6A	T6A	H A	---	T7A
---	T5D	T8A	T7B	H A	T6C	T7B	H A	---	T6B
---	T8A	T7B	T7A	H A	T7A	T6B	H A	---	T6C
---	T5C	T5C	T5D	H A	T6B	T7A	H A	---	T6A
ROSALIA - HISTÓRIA					ROSSANO - ARTES				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5A	T6A	---	T6A	H A	---	---	T5D	H A	---
T5A	T6C	---	T6B	H A	---	T5B	T5D	H A	---
T5B	T6B	---	T6C	H A	---	T5C	---	H A	---
T5B	T5B	---	T6B	H A	---	T5C	---	H A	---
T6C	T6A	---	T5A	H A	---	T5B	---	H A	---
VALMIR - MATEMÁTICA					VERA - CIÊNCIAS				
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
T5C	T5D	---	T5C	T5B	T8A	T5B	H A	---	T5D
T5D	H A	---	T5A	T5A	T5C	T5C	H A	---	T5D
T5C	H A	---	T5B	T5B	T8A	T5B	H A	---	T5A
T5A	H A	---	T5A	T5C	T5C	T5A	H A	---	T5B
T5D	H A	---	T5B	T5D	T5A	T5D	H A	---	T8A



**ANEXO 06 – HORÁRIO GERADO PELO SOFTWARE COMERCIAL**

<b>5ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Rosalia	Marta	Marie	Marie	Valmir
Rosalia	Marie	Marie	Rosalia	Vera
Marta	Marie	Jucimara	Valmir	Valmir
Marisel.	Vera	Noeli	Valmir	Marisel.
Vera	Marta	Jucimara	Marisel.	Noeli

<b>5ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Valmir	Valmir	Rossano	Marisel.	Carlos
Marta	Vera	Noeli	Valmir	Carlos
Marisel.	Rosalia	Marta	Noeli	Marisel.
Vera	Rosalia	Marta	Carlos	Valmir
Rosalia	Rossano	Carlos	Carlos	Vera

<b>5ª C</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Vera	Rossano	Carlos	Valmir	Marisel.
Marisel.	Marta	Carlos	Carlos	Noeli
Valmir	Rossano	Noeli	Carlos	Carlos
Marta	Rafael	Rafael	Marisel.	Vera
Valmir	Vera	Marta	Rafael	Valmir

<b>5ª D</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Marisel.	Rafael	Marta	Carlos	Vera
Valmir	Rossano	Rossano	Rafael	Valmir
Vera	Marta	Carlos	Marisel.	Vera
Valmir	Marta	Carlos	Noeli	Carlos
Marisel.	Rafael	Noeli	Valmir	Carlos

<b>6ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Clarice	Jucimara	Gisele	Lucia H	Rosalia
Valmir	Gisele	Edilson	Lucia H	Regina
Regina	Regina	Dayana	Rosalia	Edilson
Valmir	Gisele	Edilson	Rosalia	Lucia H
Clarice	Jucimara	Dayana	Clarice	Lucia H

<b>6ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Edilson	Regina	Juciamara	Dayana	Edilson
Regina	Lucia H	Gisele	Clarice	Lucia H
Rosalia	Lucia H	Edilson	Dayana	Lucia H
Rosalia	Clarice	Gisele	Dayana	Jucimara
Gisele	Regina	Edilson	Rosalia	Edilson

<b>6ª C</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Gisele	Rosalia	Edilson	Rosalia	Regina
Clarice	Rosalia	Jucimara	Dayana	Edilson
Edilson	Clarice	Gisele	Clarice	Jucimara
Regina	Lucia H	Dayana	Lucia H	Edilson
Edilson	Lucia H	Gisele	Lucia H	Regina

<b>7ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Regina	Marie	Anderson	Clarice	Marie
Anderson	Rafael	Rafael	Anderson	Marie
Gisele	Gisele	Anderson	Rafael	Noli
Gisele	Jucimara	Marie	Anderson	Regina
Regina	Clarice	Marie	Noeli	Jucimara

<b>7ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Anderson	Gisele	Rafael	Rafael	Noeli
Gisele	Regina	Anderson	Noeli	Juciamara
Clarice	Rafael	Marie	Anderson	Regina
Clarice	Regina	Jucimara	Marie	Marie
Anderson	Gisele	Anderson	Marie	Marie

<b>8ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Marta	Vera	Noeli	Anderson	Jucimara
Vera	Jucimara	Marta	Marie	Marisel.
Anderson	Vera	Rafael	Marie	Marie
Anderson	Marie	Anderson	Rafael	Noeli
Marta	Marie	Rafael	Anderson	Marisel.

Professor	<b>Anderson</b>		<b>Matemática</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
7B	Hora atividade	7A	8A	Não vínculo	
7A		7B	7A		
8A		7A	7B		
8A		8A	7A		
7B	Hora	7B	8A		

Professor <b>Valmir</b>		<u><b>Matemática</b></u>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5B	5B	Não vínculo	5C	5A
5D	Hora atividade		5B	5D
5C			5A	5A
5D			5A	5B
5C			5D	5C

Professor	<b>Edilson</b>		<b>Matemática</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
6B	Hora Atividade	6C	Não Vínculo	6B	
6A		6A		6C	
6C		6B		6A	
6A		6A		6C	
6C		6B		6B	

Professor	<b>Marie</b>		<b>Português</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
Hora Atividade	7A	5A	5A	7A	
	5A	5A	8A	7A	
	5A	7B	8A	8A	
	8A	7A	7B	7B	
	8A	7A	7B	7B	

Professor	<b>Lucia Helena</b>		<b>Português</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
Hora Atividade		Não vínculo	6A		
	6B		6A	6B	
	6B			6B	
	6C		6C	6A	
	6C		6C	6A	

Professor	<b>Carlos</b>		<b>Português</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
Hora Atividade	Não vínculo	5C	5D	5B	
		5C	5C	5B	
		5D	5C	5C	
		5D	5B	5D	
		5B	5B	5D	

Professor	<b>Marta</b>		<b>Ed. Física</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
8A	5A	5D	Hora Atividade	Não vínculo	
5B	5C	8A			
5A	5D	5B			
5C	5D	5B			
8A	5A	5C			

Professor	<b>Gisele</b>		<b>Ed. Física</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
6C	7B	6A	Hora Atividade	Não vínculo	
7B	6A	6B			
7A	7A	6C			
7A	6A	6B			
6B	7B	6C			

Professor	<b>Jucimara</b>		<b>Artes</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
Não vínculo	6A	6B	Hora Atividade	8A	
	8A	6C		7B	
		5A		6C	
	7A	7B		6B	
	6A	5A		7A	

Professor	<b>Rossano</b>		<b>Artes</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
	5C	5B	Hora Atividade		
	5D	5D			
	5C				
	5B				

Professor	<b>Clarice</b>		<b>Geografia</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
6A		Hora Atividade	7A	Não vínculo	
6C			6B		
7B			6C		
7B			6B		
6A			6A		

Professor	<b>Mariselma</b>		<b>Geografia</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
5D	Não vínculo	Hora Atividade	5B	5C	
5C				8A	
5B			5D	5B	
5A			5C	5A	
5D			5A	8A	

Professor	<b>Rosália</b>	<b>História</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5A	6C	Não vínculo	6C	6A
5A	6C		5A	Hora Atividade
6B	5B		6A	
6B	5B		6A	
5B			6B	

Professor	<b>Rafael</b>	<b>História</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Não vínculo	5D	7B	7B	Hora Atividade
	7A	7A	5D	
	7B	8A	7A	
	5C	5C	8A	
	5D	8A	5C	

Professor	<b>Noeli</b>	<b>Inglês</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Não vínculo	Hora Atividade	8A		7B
		5B	7B	5C
		5C	5B	7A
		5A	5D	8A
		5D	7A	5A

Professor	<b>Dayana</b>	<b>Inglês</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
	Hora Atividade		6B	
			6C	
		6A	6B	
		6C		
		6A		

Professor	<b>Vera</b>	<b>Ciências</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5C	8A	Hora Atividade	Não vínculo	5D
8A	5B			5A
5D	8A			5D
5B	5A			5C
5A	5C			5B

Professor	<b>Regina</b>	<b>Ciências</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7A	6B	Hora Atividade	Não vínculo	6C
6B	7B			6A
6A	6A			7B
6C	7B			7A
7A	6B			6C

**ANEXO 07 – HORÁRIO GERADO PELO MÉTODO MISTO – ANO LETIVO 2005**

<b>5ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Carlos	Vera	Valdelandi	Gisele	Carlos
Valdelandi	Rafael	Gisele	Jair	Jair
Carlos	Vera	Anderson	Luciana	Anderson
Gisele	Rafael	Anderson	Luciana	Anderson
Rafael	Carlos	Vera	Jair	Carlos

<b>5ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Gisele	Rafael	Gisele	Anderson	Rafael
Carlos	Vera	Vera	Luciana	Anderson
Valdelandi	Carlos	Jair	Anderson	Carlos
Carlos	Carlos	Jair	Jair	Luciana
Valdelandi	Vera	Anderson	Gisele	Rafael

<b>5ª C</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Valdelandi	Carlos	Jair	Luciana	Anderson
Gisele	Carlos	Anderson	Anderson	Carlos
Vera	Rafael	Gisele	Jair	Rafael
Valdelandi	Vera	Vera	Gisele	Carlos
Carlos	Rafael	Jair	Luciana	Anderson

<b>6ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Marta	Rosalia	Lucia H.	Edilson	Lucia H
Regina	Edilson	Edilson	Marta	Marta
Jociane	Lucia H.	Clarice	Regina	Rosalia
Regina	Lucia H.	Clarice	Edilson	Rosalia
Luciana	Edilson	Jociane	Clarice	Luciana

<b>6ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Jociane	Clarice	Edilson	Regina	Luciana
Rosalia	Rosalia	Regina	Edilson	Lucia H.
Rosalia	Edilson	Regina	Marta	Luciana
Jociane	Edilson	Edilson	Lucia H.	Lucia H.
Marta	Clarice	Clarice	Lucia H.	Marta

<b>6ª C</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Regina	Edilson	Clarice	Lucia H.	Rosalia
Luciana	Clarice	Jociane	Regina	Rosalia
Marta	Clarice	Edilson	Edilson	Lucia H.
Luciana	Rosalia	Jociane	Marta	Marta
Regina	Lucia H.	Edilson	Edilson	Lucia H.

<b>7ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Rosalia	Lucia H	Luciana	Clarice	Marta
Marta	Lucia H	Lucia H	Lucia H	Luciana
Regina	Jociane	Valmir	Lucia H	Valmir
Rosalia	Clarice	Valmir	Regina	Valmir
Jociane	Valmir	Regina	Marta	Rosalia

<b>7ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Luciana	Marie	Regina	Marta	Valmir
Jociane	Valmir	Clarice	Valmir	Valmir
Luciana	Rosalia	Jociane	Marie	Marta
Marta	Marie	Regina	Clarice	Marie
Rosalia	Rosalia	Valmir	Regina	Marie

<b>8ª A</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Rafael	Jociane	Vera	Marie	Marie
Vera	Marie	Valmi	Gisele	Marie
Rafael	Valmir	Luciana	Valmir	Jair
Vera	Valmir	Gisle	Valmir	Rafael
Gisele	Jociane	Luciana	Marie	Jair

<b>8ª B</b>				
<i>Segunda</i>	<i>Terça</i>	<i>Quarta</i>	<i>Quinta</i>	<i>Sexta</i>
Vera	Valmir	Valmir	Valmir	Jair
Rafael	Jociane	Luciana	Marie	Rafael
Gisele	Marie	Vera	Gisele	Marie
Rafael	Jociane	Luciana	Marie	Jair
Vera	Marie	Gisele	Valmir	Valmir

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Anderson		Matemática		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Hora Atividade	Não Vínculo		5B	5C
		5C	5C	5B
		5A	5B	5A
		5A		5A
		5B		5C

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Edilson		Matemática		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Hora Atividade	6C	6B	6A	Não Vínculo
	6A	6A	6B	
	6B	6C	6C	
	6B	6B	6A	
	6A	6C	6C	

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Valmir		Matemática		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Hora Atividade	8B	8B	8B	7B
	7B	8A	7B	7B
	8A	7A	8A	7A
	8A	7A	8A	7A
	7A	7B	8B	8B

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Marie		Português		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Não Vínculo	7B	Hora Atividade	8A	8A
	8A		8B	8A
	8B		7B	8B
	7B		8B	7B
	8B		8A	7B

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Carlos		Português		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5A	5C	Hora Atividade	Não Vínculo	5A
5B	5C			5C
5A	5B			5B
5B	5B			5C
5C	5A			5A

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Lucia Helena		Português		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Não Vínculo	7A	6A	6C	6A
	7A	7A	7A	6B
	6A	Hora Atividade	7A	6C
	6A		6B	6B
	6C		6B	6C

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Regina		Ciências		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6C	Não Vínculo	7B	6B	Hora Atividade
6A		6B	6C	
7A		6B	6A	
6A		7B	7A	
6C		7A	7B	

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Vera		Ciências		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
8B	5A	8A	Não Vínculo	Hora Atividade
8A	5B	5B		
5C	5A	8B		
8A	5C	5C		
8B	5B	5A		

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Rosália		História		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7A	6A	Não Vínculo	Hora Atividade	6C
6B	6B			6C
6B	7B			6A
7A	6C			6A
7B	7B			7A

Escola Municipal Planalto dos Pinheiros				
Rafael		História		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
8A	5B	Não Vínculo	Hora Atividade	5B
8B	5A			8B
8A	5C			5C
8B	5A			8A
5A	5C			5B

<b>Escola Municipal Planalto dos Pinheiros</b>				
<b>Clarice</b>		<b>Geografia</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
<i>Hora Atividade</i>	6B	6C	7A	<i>Não Vínculo</i>
	6C	7B		
	6C	6A		
	7A	6A	7B	
	6B	6B	6A	

<b>Escola Municipal Planalto dos Pinheiros</b>				
<b>Jair</b>		<b>Geografia</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
<i>Hora Atividade</i>	<i>Não Vínculo</i>	5C		8B
			5A	5A
		5B	5C	8A
		5B	5B	8B
		5C	5A	8A

<b>Escola Municipal Planalto dos Pinheiros</b>				
<b>Gisele</b>		<b>Educação Física</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5B	<i>Hora Atividade</i>	5B	5A	<i>Não Vínculo</i>
5C		5A	8A	
8B		5C	8B	
5A		8A	5C	
8A		8B	5B	

<b>Escola Municipal Planalto dos Pinheiros</b>				
<b>Marta</b>		<b>Educação Física</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6A	<i>Hora Atividade</i>	<i>Não Vínculo</i>	7B	7A
7A			6A	6A
6C			6B	7B
7B			6C	6C
6B			7A	6B

<b>Escola Municipal Planalto dos Pinheiros</b>				
<b>Jociene</b>		<b>Inglês</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6B	8A		<i>Não Vínculo</i>	<i>Hora Atividade</i>
7B	8B	6C		
6A	7A	7B		
6B	8B	6C		
7A	8A	6A		

<b>Escola Municipal Planalto dos Pinheiros</b>				
		<b>Inglês</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
5C		5A		<i>Hora Atividade</i>
5A				
5B				
5C				
5B				

<b>Escola Municipal Planalto dos Pinheiros</b>				
<b>Luciana</b>		<b>Artes</b>		
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
7B	<i>Hora Atividade</i>	7A	5C	6B
6C		8B	5B	7A
7B		8A	5A	6B
6C		8B	5A	5B
7A		8A	5C	6A



Góes, Anderson Roges Teixeira.

Otimização na Distribuição da Carga Horária de Professores  
– Método Exato, Método Heurístico, Método Misto e Interface –  
/ Anderson Roges Teixeira Góes - Curitiba, 2005.  
xiv, 129 f. : il.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Deise Maria Bertholdi Costa  
Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia e Setor de  
Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.  
Inclui Bibliografia

1. Horário Escolar. 2. Problema de otimização linear binária.  
3. Métodos exato, heurístico e misto (algoritmos) I. Costa,  
Deise Maria Bertholdi. II Título. III. Universidade Federal do  
Paraná.

CDD  
519.2